

Tilførsler av radioaktive stoffer til norske kyst- og havområder



**Norwegian Radiation
Protection Authority**

Postboks 55
N-1332 Østerås
Norway

Referanse:

Statens strålevern. Tilførsel av radioaktive stoffer til norske kyst- og havområder. StrålevernRapport 2006:23. Østerås: Statens strålevern, 2006. Språk: norsk.

Forfattere:

Thørring H, Gåfvert T, Iosjpe M, Rudjord A L

Emneord:

Radioaktivitet, marin miljø, Cs-137, Tc-99, radium, transport

Resymé:

Rapporten inneholder et sammendrag av de viktigste kildene til radioaktiv forurensning i norske havområder. Tilførselen av Cs-137 og Tc-99 i 9 forskjellige hav- og kystregioner, fra Barentshavet i nord til Skagerrak i sør, er estimert ved bruk av Strålevernets marine boksmode. Tilførsler av Ra-226 og Ra-228 fra norsk olje- og gassvirksomhet er også tatt med. Resultatene viser at den største kilden til Cs-137 er utstrømming av Tsjernobyl-kontaminert vann fra Østersjøen. For Tc-99 er Sellafield den eneste betydelige kilden. Kunnskapshull knyttet til tilførsler av radioaktiv forurensning til norske havområder er også identifisert i rapporten.

Reference:

NRPA. Inputs of Radionuclides to Norwegian Marine Areas. StrålevernRapport 2006:23. Østerås: Norwegian Radiation Protection Authority, 2006.

Authors:

Thørring H, Gåfvert T, Iosjpe M, Rudjord A L

Key words:

Radioactivity, marine environment, Cs-137, Tc-99, radium, transport

Abstract:

This report presents a summary of the main sources of radioactivity in the Norwegian marine environment. The input of Cs-137 and Tc-99 in 9 different sea and coastal regions, from Barents Sea in the north, to Skagerrak in the south, has been estimated by using the NRPA-box model. The input of Ra-226 and Ra-228 from the Norwegian oil and gas industry to different regions is also included. The results show that outflowing seawater from the Baltic Sea is the largest source of Cs-137. For Tc-99, liquid discharge from Sellafield is the only source of importance. Knowledge gaps concerning transfer of radioactivity into Norwegian marine areas have also been identified.

Head of project: Anne Liv Rudjord

Approved:



Per Strand, Director,
Department for Emergency Preparedness and Environmental Radioactivity

41 pages

Published 2006-12-30

Printed number 150 (06-09)

Cover design: Lobo media, Oslo

Printed by Lobo media

Orders to:

Norwegian Radiation Protection Authority, P.O. Box 55, N-1332 Østerås, Norway

Telephone +47 67 16 25 00, fax + 47 67 14 74 07

www.nrpa.no

ISSN 0804-4910

Tilførsler av radioaktive stoffer til norske kyst- og havområder

Håvard Thørring
Torbjörn Gäfvert
Mikhail Iosjpe
Anne Liv Rudjord

Statens strålevern
Norwegian Radiation
Protection Authority
Østerås, 2006

Innhold

1	Sammendrag	7
2	Innledning	8
2.1	Generell beskrivelse av prosjektet	8
2.2	Mål for prosjektets første periode (forprosjekt)	8
3	Kilder til radioaktiv forurensning i norske havområder	10
3.1	Kjernevåpentester i atmosfæren	11
3.2	Gjenvinningsanlegg for brukt kjernebrensel	11
3.3	Tsjernobyl-ulykken	12
3.4	Petroleumsvirksomhet	12
	3.4.1 <i>Norsk sokkel</i>	12
	3.4.2 <i>Britisk sektor</i>	13
3.5	Andre kilder	13
	3.5.1 <i>Institutt for energiteknikk (IFE)</i>	13
	3.5.2 <i>Sykehus, forskning og industri</i>	15
	3.5.3 <i>Avrenning av naturlig radioaktivitet fra gruveavfall</i>	15
4	Modeller og datautvalg	16
4.1	Tilførsel via havstrømmer fra områder utenfor Norge	16
	4.1.1 <i>Beskrivelse av transportmodell</i>	17
	4.1.2 <i>Kontrollerte utslipp fra Sellafield</i>	18
	4.1.3 <i>Remobilisering av radionuklider fra Irskesjøen</i>	19
	4.1.4 <i>Utstrømming av Tsjernobyl-kontaminert vann fra Østersjøen</i>	20
	4.1.5 <i>Atmosfæriske kjernevåpentester</i>	20
4.2	Tilførsler knyttet til petroleumsvirksomhet	20
	4.2.1 <i>Norsk sokkel</i>	20
	4.2.2 <i>Britisk sektor</i>	21
4.3	Avrenning fra land/elver i Norge	21
5	Resultater og diskusjon	22
5.1	Tilførsel via havstrømmer fra områder utenfor Norge	22
	5.1.1 <i>Cesium-137</i>	22
	5.1.2 <i>Technetium-99</i>	23
	5.1.3 <i>Kunnskapshull/videre arbeid</i>	24
5.2	Petroleumsvirksomhet	24
	5.2.1 <i>Norsk sokkel</i>	24
	5.2.2 <i>Britisk sektor</i>	26
	5.2.3 <i>Kunnskapshull/videre arbeid</i>	26
5.3	Avrenning fra land/elver i Norge	26
6	Sammenfattende oppstilling (viktigste kilder)	27

7	REFERANSER	31
8	VEDLEGG	34
8.1	Grunnlagsdata for tilførselsestimer	34
8.2	Overvåkningsmålinger 2003- 2004	36
8.2.1	<i>Cesium-137</i>	36
8.2.2	<i>Strontium-90</i>	37
8.2.3	<i>Technetium-99</i>	38
8.2.4	<i>Plutonium-239+240</i>	39
8.2.5	<i>Americium-241</i>	39
8.2.6	<i>Radium-226</i>	39



1 Sammen drag

Denne rapporten er Strålevernets innspill til et SFT-koordinert prosjekt som tar sikte på å anslå tilførsler av olje, kjemikalier og radioaktive stoffer til forskjellige kyst- og havområder i Norge. Rapporten sammenstiller de viktigste tilførselskildene til radioaktiv forurensning i norske kyst- og havområder. Til disse hører nedfall fra atmosfæriske prøvesprengninger av kjernevåpen på 1950 og 60-tallet, utslipp fra gjenvinningsanlegg for brukt kjernebrensel og Tsjernobyl-kontaminert vann fra Østersjøen, samt naturlig forekommende radioaktive stoffer som slippes ut via produsert vann fra petroleumsaktivitet. Gjennom sammenstillinger av utslipp samt spredningsmodellering har tilførslene av viktige radionuklider til 9 spesifiserte kyst- og havregioner blitt anslått. I tillegg er overvåkningsdata fra de ulike regionene de siste årene blitt sammenfattet.

Resultater fra spredningsmodelleringer viser at for cesium-137 er i dag utstrømming av Tsjernobyl-kontaminert vann fra Østersjøen den største tilførselskilden i de fleste av havregionene, fulgt av nedfall fra de atmosfæriske prøvesprengningene. De store utslippene av cesium-137 fra Sellafield i siste halvdel av 1970-tallet ble vesentlig redusert på 80-tallet, og dagens tilførsel tilsvarer noen prosent av den som fant sted rundt 1980. De høyeste konsentrasjonene av cesium-137 finner man i Skagerrak.

Den klart viktigste kilden til technetium-99 i dag er reprosesseringsanlegget i Sellafield i Storbritannia. Tilførselen av technetium-99 har minket noe sammenliknet med 1998, men det er stadig forhøyde nivåer av technetium-99 i vann, tang og hummer fra norske havområder. De høyeste konsentrasjonene finner man i Nordsjøen.

Spredningen av utslipp fra oljeindustrien er modellert og resultatene viser at man nær plattformene kan finne forhøyde verdier av radium-226 og radium-228. De høyeste nivåene fra utslipp fra norsk oljeindustri finner man i Tampen-området, i nærheten av plattformene Troll B og C.

I prosjektet har også kunnskapsmangler knyttet til tilførsel av radioaktive stoffer blitt identifisert. Her kan nevnes utslipp av naturlig radioaktivitet fra britisk petroleumsvirksomhet, remobilisering av plutoniumisotoper og cesium-137 fra Irskesjøen, samt avrenning av cesium-137 fra norske landområder med høyt Tsjernobyl-nedfall.

Når det gjelder informasjon om olje og kjemikalier henvises det til Molvær et al. (2007).

2 Innledning

2.1 Generell beskrivelse av prosjektet

Miljøverndepartementet (MD) har gitt Statens forurensningstilsyn (SFT) i oppdrag å lage en oversikt over tilførsler av forurensende stoffer fra alle kilder/sektorer, basert på eksisterende tall og anslag (SFT prosjekt nr. 4006028). Prosjektet gjaldt opprinnelig olje og kjemikalier, men ble senere utvidet til også å omfatte tilførslene av radioaktive stoffer, herunder nuklider fra oljevirkosomheten. Statens strålevern ble engasjert til å sammenstille og rapportere dataene for radioaktive stoffer. Det ble uttrykt ønske fra MD om å rapportere resultater fra overvåkningsmålinger (vann, sedimenter og biota).

Bakgrunnen for prosjektet er blant annet et behov for å få oversikt over hva de forskjellige sektoraktivitetene og langtransporterte forurensninger bidrar med på den enkelte lokalitet i kyst- og havområdene. Det har derfor vist seg hensiktsmessig å dele inn norske kyst- og havområder i 9 mindre regioner (figur 2.1). På et senere tidspunkt skal det vurderes om det er mulig med videre oppdeling i underregioner i og utenfor kyststrømmen i Skagerrak og i nord. Dette for å kunne sammenlikne forurensningsbelastningen i og utenfor kyststrømmen også i disse områdene. Det tas hensyn til følgende kilder/tilførselsveier i prosjektet:

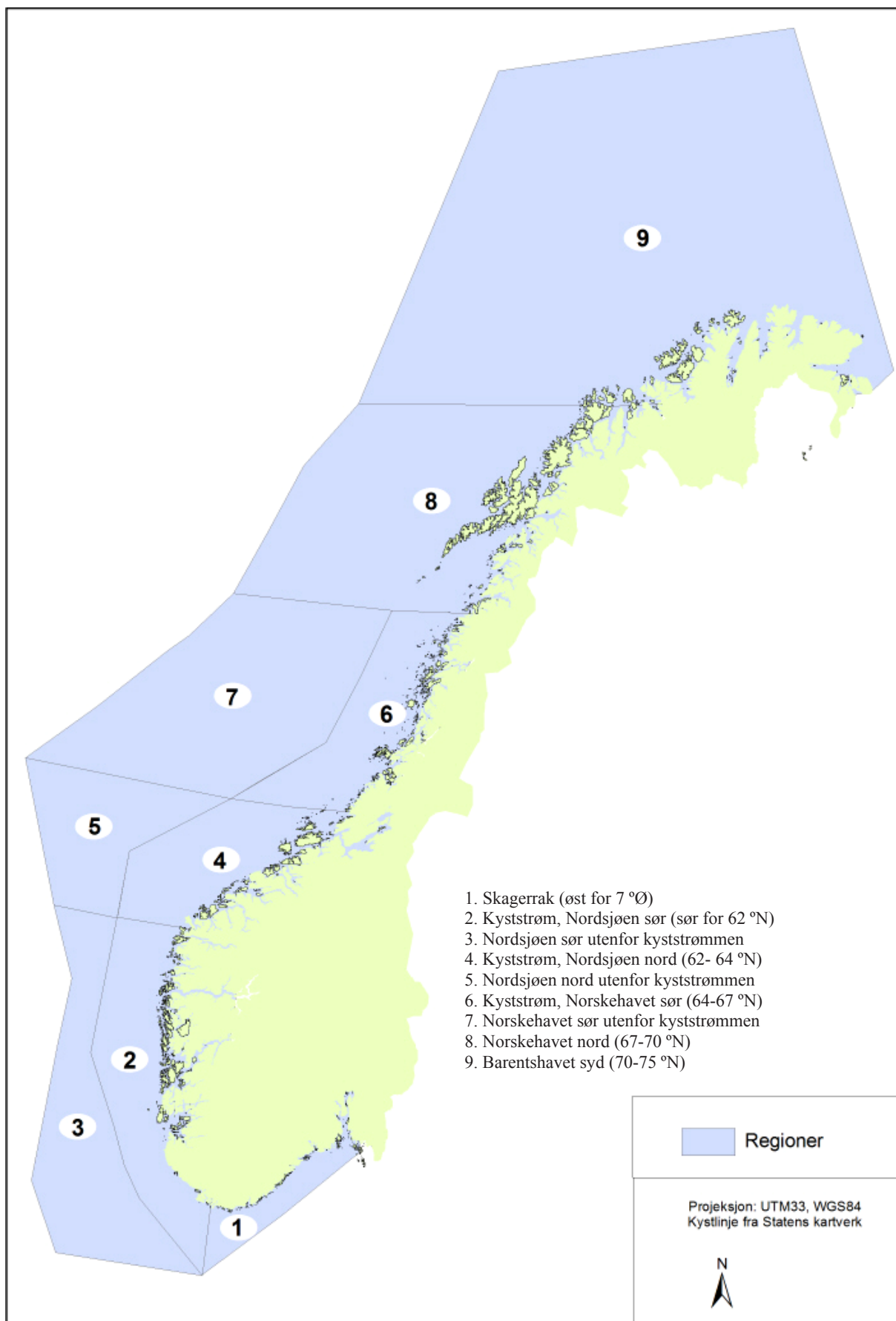
- Avrenning land/elver i Norge
- Lufttilførsler fra Norge
- Tilførsel via havstrømmer fra områder utenfor Norge (alle kilder)
- Tilførsel via luftstrømmer fra områder utenfor Norge (alle kilder)
- Petroleumsvirksomhet på norsk sokkel
- Skipsfart/båttrafikk i norske farvann
- Naturlig utlekking fra berggrunn/havbunn

2.2 Mål for prosjektets første periode (forprosjekt)

For perioden det rapporteres for her (2006) kan det spesifiseres hovedmål:

- Beregning av tilførsler av olje, kjemikalier og radioaktive stoffer basert på eksisterende data
- Identifisering av kunnskapsmangler, herunder kilder hvor det ikke finnes tall for utslipp, manglende overvåking, usikkerheter i estimerer.

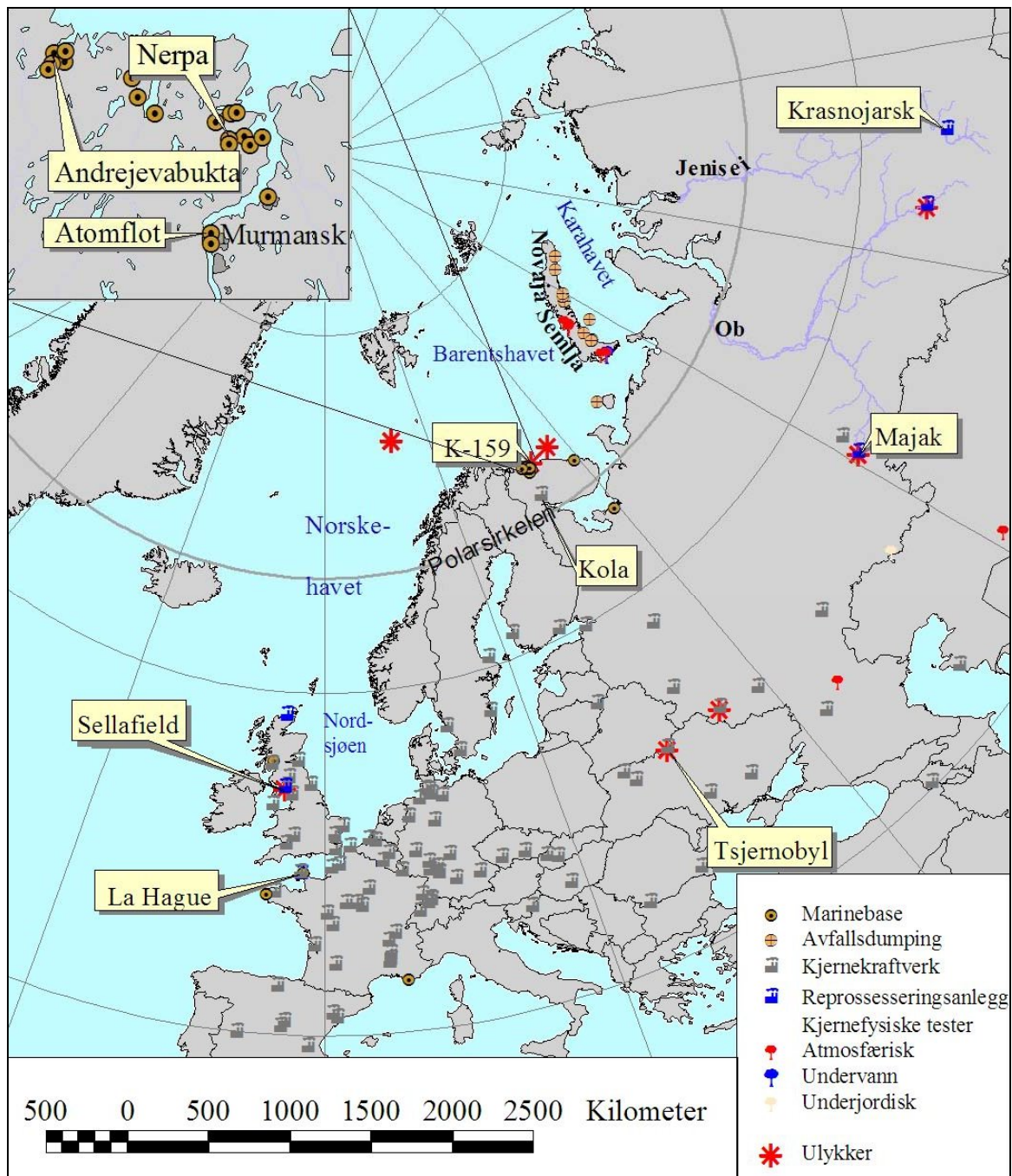
I radioaktivitetsdelen av prosjektet tas det sikte på å lage grove anslag på tilførsel av viktige radioaktive stoffer til regionene 1-9 med basis i rapporterte utslippstall/tilførsler fra forskjellige kilder innenfor og utenfor Norges grenser. Marine spredningsmodeller benyttes for å estimere tilførsler fra kilder utenfor Norges grenser (Strålevernets boksmodell), samt vise spredning som følge av utslipp fra oljeindustrien (SINTEFs DREAM-modell). I tillegg legges det vekt på å sammenstille relevante overvåkningsmålinger fra norske hav- og kystområder. Når det gjelder informasjon om olje og kjemikalier henvises det til Molvær et al. (2007).



Figur 2.1. De 9 havregionene benyttet i prosjektet (kilde: NIVA).

3 Kilder til radioaktiv forurensning i norske havområder

Reelle og potensielle kilder til radioaktiv forurensning i norske havområder er oppsummert i figur 3.1. Det er i dag tre hovedkilder til radioaktiv forurensning i norske havområder. Kjernevåpentesting i atmosfæren (1945-80), utslipp fra europeiske gjenvinningsanlegg for brukt brensel, samt nedfall fra Tsjernobyl-ulykken (1986). I den senere tid er det også blitt mer fokus på utslipp med forhøyde konsentrasjoner av naturlig forekommende radionuklider – særlig i forbindelse med oljeproduksjon.



Figur 3.1. Reelle og potensielle kilder til radioaktivitet i norske havområder.

3.1 Kjernevåpentester i atmosfæren

I perioden 1945-80 gjennomførte Frankrike, Kina, Sovjetunionen, Storbritannia og USA til sammen 520 prøvesprengninger av kjernevåpen i atmosfæren - de fleste i periodene 1957-58 og 1961-62. Den siste atmosfæriske testen ble gjennomført av Kina i 1980.

Prøvesprengninger i atmosfæren er globalt sett den største kilden til radioaktiv forurensning av miljøet. Totalt er det blitt estimert at 948 PBq cesium-137, 622 PBq strontium-90, 6,52 PBq plutonium-239 og 4,35 PBq plutonium-240 ble sluppet ut i miljøet (UNSCEAR, 2000a). Nedfallet kom vesentlig med nedbør, og mesteparten på den nordlige halvkule. Om lag 60 % av aktiviteten falt ned i havet. Nedfallet fra de atmosfæriske kjernevåpentestene kan stadig måles i det marine miljø. Fordelingen av radionuklidene i dag avhenger av parametere som havstrømmer, diffusjon og sedimenteringshastigheter.

3.2 Gjenvinningsanlegg for brukt kjernebrensel

Driften av gjenvinningsanlegg for brukt kjernebrensel gir regelmessige utslipp til sjø av blant annet plutonium-, strontium- og cesiumisotoper. I Vest-Europa er det nå to anlegg i drift: Sellafield på nordvestkysten av England og La Hague ved kysten av Normandie i Frankrike. Utslipp fra disse anleggene i 2004 er vist i tabell 3.1.

Tabell 3.1. Utslipp til vann (TBq) fra Sellafield og, Cap de la Hague til det marine miljø i 2004 (OSPAR, 2006a).

Radionuklide	Sellafield	Cap de la Hague
Americium-241	0,037	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Cerium-144	0,82	-
Cesium-134	0,40	$6,4 \cdot 10^{-2}$
Cesium-137	9,67	0,79
Hydrogen-3 (tritium)	$3,17 \cdot 10^3$	$1,39 \cdot 10^4$
Jod-129	0,65	1,37
Karbon-14	16,3	8,9
Kobolt-60	0,78	0,26
Plutonium-241	8,1	0,13
Pu- α	0,29	$6,2 \cdot 10^{-3}$
Ruthenium-106	4,42	6,45
Strontium-90	18,0	0,14
Technetium-99	14,3	0,08
Total- α	0,29	$1,74 \cdot 10^{-2}$
Total- β	73,3	13,1

Siden Sellafield har hatt de største utslippene og har bidratt mest til forurensning i norske havområder, vil det videre legges vekt på utslipp fra dette anlegget. Utslippene fra Sellafield startet i 1952 og er fra da av godt dokumentert. Sellafield driver nå hovedsakelig med gjenvinning (reprosessering) av plutonium og uran fra brukt kjernebrensel, produksjon av nytt kjernebrensel fra gjenvunnet materiale, avfallshåndtering og nedbygging (dekommisjonering) av tidligere virksomhet. I de senere årene har det vært særlig fokusert på anleggets utslipp av technetium-99.

3.3 Tsjernobyl-ulykken

Den verste kjernekraftulykken i historien skjedde 26. april 1986 i Tsjernobyl, Ukraina. Nedfallet etter Tsjernobyl-ulykken besto av en rekke forskjellige radioaktive stoffer, blant annet jod-131, cesium-134 og cesium-137. Mange av nuklidene som slapp ut hadde imidlertid kort halveringstid og kan ikke lengre detekteres i miljøet. Det i dag er cesium-137 som utgjør hovedandelen av forurensningen. Totalt ble det sluppet ut 85 PBq cesium-137 (UNSCEAR, 2000b). Østersjøen var havområdet som ble mest påvirket, og mottok ca. 5 PBq cesium-137 (Evans, 1991). På grunn av at vannet i Østersjøen bruker lang tid på å skiftes ut, samt at tilførselen fra elver vedvarer, synker vannkonsentrasjonen av cesium-137 langsomt i regionen. Estimert gjennomsnittskonsentrasjon av cesium-137 i overflatevann fra Østersjøen var i 2000 $50 \pm 20 \text{ Bq/m}^3$ – om lag 10 ganger høyere enn langs norskekysten. Effektiv halveringstid er beregnet til 13 ± 2 år (Povinec et al. 2003). Utstrømming av Tsjernobyl-kontaminert vann fra Østersjøen utgjør i dag en viktig kilde til cesium-137 i norske havområder.

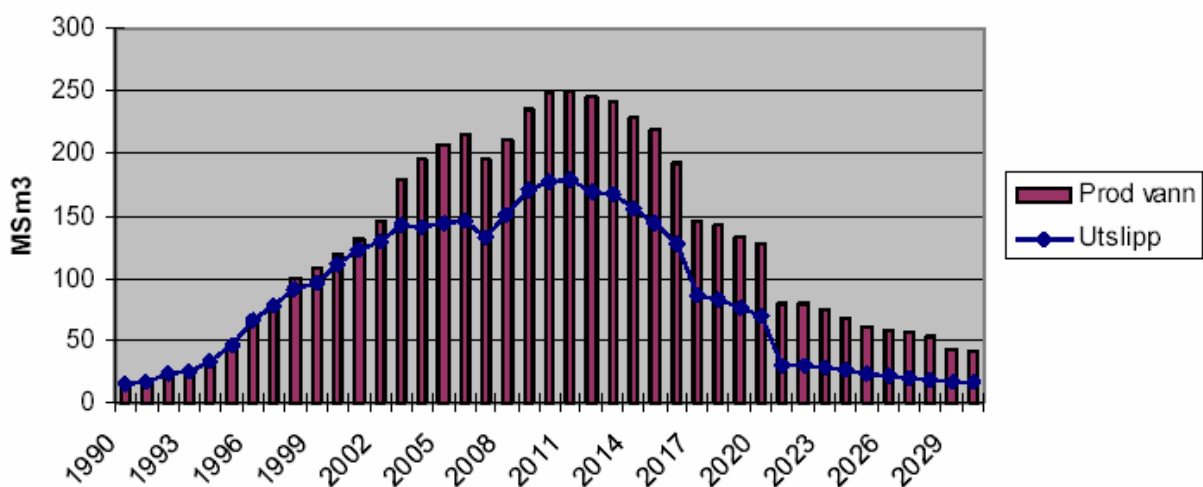
Avrenning fra landområder i Norge bidrar også med cesium-137 til sjø. Analyser av sedimenter, tang og sjøvann fra norske fjorder har vist forhøyde konsentrasjoner av cesium-137 i de kystområder i Midt-Norge (Trøndelag) der nedfallet var størst (StrålevernRapport 2001:9).

3.4 Petroleumsvirksomhet

I forbindelse med utvinning av olje og gass slippes det ut store mengder produsert vann. Det produserte vannet kommer fra formasjonsvann i reservoaret og vann som sprøytes inn for å opprettholde trykket i reservoaret. Det inneholder forhøyde konsentrasjoner av naturlig forekommende radioaktive stoffer fra seriene til uran-238 og thorium-232. Spesielt to isotoper fra disse to seriene er viktige i forbindelse med utslipp av produsert vann fra olje- og gassproduksjon: radium-226 og radium-228.

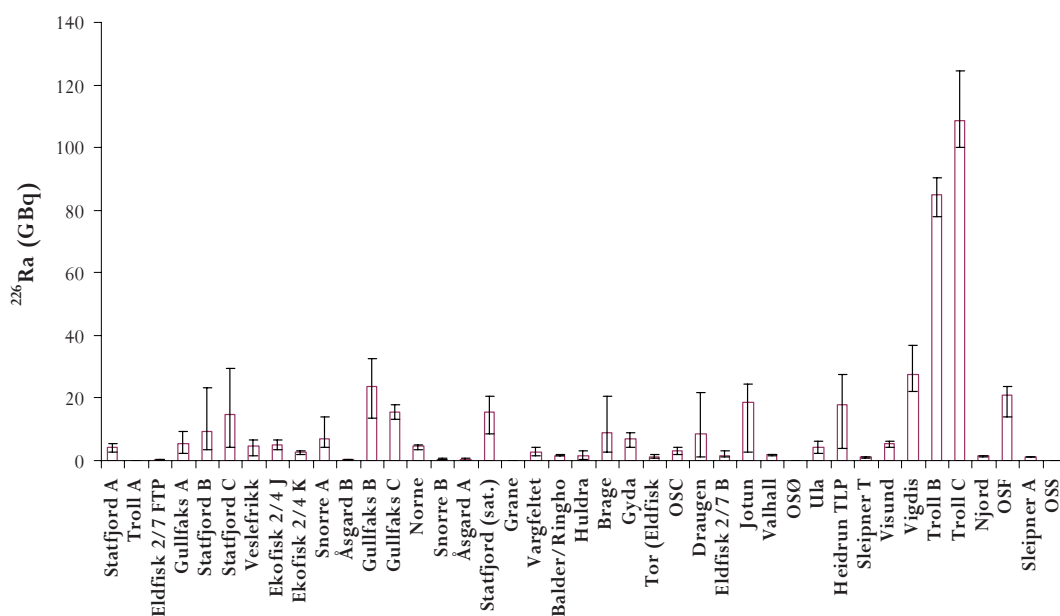
3.4.1 Norsk sokkel

Figur 3.2. viser at utslippene av produsert vann fra norsk sokkel har økt betydelig de siste 10 årene. Økningen vil trolig fortsette frem til 2015 for deretter å avta som følge av redusert produksjon og ny teknologi (SFT, 2003). Forskjellen mellom produsert vann og selve utslippene i figuren skyldes at noe av vannet blir injisert tilbake i reservoaret. Injeksjon er en av teknologiene som på sikt vil kunne redusere utslippene.



Figur 3.2. Historiske og antatt framtidige utslipp av produsert vann på norsk sokkel oppgitt i millioner standard kubikkmeter, MSm^3 (Kilde: SFT, 2003).

Tidligere har det vært gjort få målinger av konsentrasjoner av radioaktive stoffer i produsert vann, men i de seinere årene er dette bedre kartlagt. Generelt har det blitt anslått at konsentrasjonene av Ra-226 og Ra-228 i gjennomsnitt ligger om lag 1000 ganger høyere enn bakgrunnsnivåene i havvann. Det er betydelig variasjon mellom ulike målinger. Rapporterte konsentrasjoner av Ra-226 i 2003 varierer fra <1 til 16 Bq/l med et gjennomsnitt på 3,3 Bq/l vektet på utslippsvolum. Tilsvarende tall for Ra-228 var fra <1 til 21 Bq/l, med gjennomsnitt 2,8 Bq/l (StrålevernRapport 2005:2). Estimerer på totale utslipp av radium-226 fra ulike installasjoner er vist i figur 3.3. Som det framgår av figuren kom om lag 40 % av utslippene fra plattformene Troll B og C.



Figur 3.3. Estimert totalutslipp av ²²⁶Ra fra alle plattformer (2003).

Det er også blitt gjort målinger av bly-210 og polonium-210 i produsert vann. For bly-210 var alle målingene under deteksjonsgrensa (<1Bq/l), mens gjennomsnittsverdien (min-max) for polonium-210 var 0,0018 (0,0002-0,0061) Bq/l. På grunn av de lave rapporterte konsentrasjonene omtales ikke disse radionuklidene nærmere i denne rapporten.

3.4.2 Britisk sektor

Det slippes også ut produsert vann fra britisk sektor: Totalt utslipp i 2004 var 252 millioner standard kubikkmeter (MSm³) (OSPAR, 2006), som er om lag dobbelt så mye som fra norsk sektor samme år (143 MSm³).

Det fins ingen detaljerte studier angende aktivitetskonsentrasjoner av radiumisotoper i produsert vann fra de ulike installasjonene på britisk sektor. Britiske myndigheter har imidlertid estimert utslippene av Ra-226, Ra-228 og Pb-210 til henholdsvis 1082 GBq, 298 GBq og 39 GBq for året 2004 basert på prøver fra 82 installasjoner (OSPAR 2006c).

3.5 Andre kilder

3.5.1 Institutt for energiteknikk (IFE)

IFE driver to forskningsreaktorer, en på Kjeller (ca. 20 km øst for Oslo) og en i Halden. De radioaktive utslippene stammer fra driften av reaktorene, fra produksjon av radiofarmaka som utføres av GE Health-

care A/S, og fra behandling av radioaktivt avfall som mottas fra brukere over hele landet. Utslippene må være i henhold til gjeldende regelverk, herunder strålevernloven med forskrift og utslippsgodkjenningen gitt av Statens strålevern. En oversikt over årlige utslipp fra IFE Kjeller og IFE Halden for perioden 2001-2005 er vist i henholdsvis tabell 3.2 og 3.3.

Tabell 3.2. Utslipp (MBq) til vann (Nitelva) fra IFE Kjeller i perioden 2001 til 2005.

Radionuklide	2001	2002	2003	2004	2005
Americium-241	0,35	0,7	0,005	0,003	0,03
Antimon-124	-	<0,06	<0,2	<0,1	<0,1
Antimon-125	-	<0,11	2,7	0,075	<0,7
Cerium-144	-	1,6	3,3	1,1	0,054
Cesium-134	2,5	2,3	1,2	0,35	0,08
Cesium-137	25,7	25	22	7,9	0,51
Hydrogen-3	$1,5 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^6$	$2,8 \cdot 10^6$	$2,9 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^5$
Jern-59	-	<0,15	<0,2	<0,3	<0,2
Jod-125	310	350	540	327	50
Jod-131	107	6,0	15	27	39
Kobolt-58	-	<0,10	0,26	<0,1	<0,1
Kobolt-60	74	60	55	24	6,7
Krom-51	-	<0,5	<0,6	<2	<1,3
Mangan-54	-	<0,14	<0,2	<0,2	<0,2
Niob-95	-	0,17	0,42	<0,06	<0,1
Plutonium-238	0,0003	0,011	0,002	0,01	0,007
Plutonium-	0,04	0,04	0,034	0,15	0,15
Ruthenium-103	-	<0,07	0,14	0,10	<0,3
Ruthenium-106	-	<0,9	2,0	<4	<2,2
Strontium-90	1,23	0,55	0,33	2,6	0,34
Sølv-110m	-	1,2	2,1	0,089	1,2
Zink-65	3,8	<0,4	0,27	0,1	8,4
Zirconium-95	-	0,13	0,14	<0,2	<0,2

Tabell 3.3. Utslipp (MBq) til vann (Tista og Iddefjorden) fra IFE Halden i perioden 2001 til 2005

Radionuklide	2001	2002	2003	2004	2005
Antimon-124	-	0,53	-	-	0,003
Antimon-125	130	18	0,06	0,002	0,037
Cerium-141	6,4	0,82	0,29	0,68	0,61
Cerium-144	14	5,7	3,2	16	8,8
Cesium-134	2	18	8,8	8,0	18
Cesium-137	58	110	130	70	130
Hydrogen-3	$2,4 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^6$	$2,7 \cdot 10^5$	$5,4 \cdot 10^5$	$5,3 \cdot 10^5$
Jern-59	-	0,32	-	0,75	0,88
Jod-131	0,04	0,9	3,6	0,68	0,42
Kadmium-109	0,46	0,33	0,016	-	-
Kobolt-58	49	5,1	3,3	8,7	41
Kobolt-60	440	88	62	68	99
Krom-51	290	150	130	210	180
Mangan-54	7	0,5	0,18	0,73	2,5
Mangan-56	-	-	-	2,8	-
Niob-95	40	12	8,5	11	12
Ruthenium-103	2,8	0,59	0,17	0,45	0,42
Ruthenium-106	2	0,18	-	-	-
Strontium-90	-	-	3,3	2,1	4,9
Sølv-110m	0,5	0,005	0,17	0,001	0,94
Zirkonium-95	16	5,4	3,3	4,9	5,3

3.5.2 Sykehus, forskning og industri

Bruk av åpne radioaktive kilder ved sykehus, forskning og industri kan føre til utslipp av radioaktive stoffer til vann, inkl. avløp, luft eller i grunnen. Behandling av avfall som inneholder radioaktive stoffer kan også føre til utslipp. Alle utslipp av radioaktive stoffer, uansett mengde skal være godkjent av Statens strålevern. Radioaktive stoffer brukt innen medisin dominerer antropogene utslipp til kloakksystemet, og gis til pasienter av diagnostiske eller terapeutiske grunner. Av viktige nuklider som brukes til medisinske formål kan nevnes technetium-99m og jod-131. Stoffene tilføres kloakksystemet med urin og faeces.

Eksakte data på nuklider og mengder sluppet ut fra sykehus, forskning og industri er ikke tilgjengelig, men tilvirkere av radioaktive stoffer er forpliktet til å rapportere månedlige salg til Strålevernet. Salg av radionuklider i totale mengder over 1 GBq i 2004 er vist i tabell 3.4.

Tabell 3.4. Oversikt over de mest solgte åpne radioaktive kilder i 2004

Nuklide	Halveringstid*	Aktivitet (GBq)
Molybden-99/Technetium-99m	66 t/6 t	27080
Jod-131	8 d	1889
Hydrogen-3	12,3 år	460,9
Xenon-133	5,3 d	317,7
Fluor-18	110 min	216,2
Fosfor-32	14,3 d	159,9
Jod-123	13,1 t	90
Svovel-35	87 d	80,4
Tallium-201	73,1 t	60,7
Indium-111	2,8 d	30
Samarium-153	46,7 t	26
Jod-125	60 d	19
Yttrium-90	64,1 t	17,5
Krom-51	27,7 d	12,9
Fosfor-33	25,4 d	6,7
Strontium-89	50,6 d	4,6
Technetium-99m	6 t	4,2
Indium-113m	1,66 t	3,7
Gadolinium-67	3,3 d	1,3
Karbon-14	5730 år	1,0

*min = minutt, t = time, d = dag, GBq = gigabecquerel

3.5.3 Avrenning av naturlig radioaktivitet fra gruveavfall

Avfall fra gruveindustri som inneholder forhøyde konsentrasjoner av naturlig radioaktivitet kan lokalt forårsake forhøyde nivåer av naturlig radioaktivitet i vann og biota. Det er ikke blitt utført noen grundig kartlegging over hvor mange områder som kan være berørt. Et eksempel på et aktuelt undersøkelsesområde er det tidligere gruveområdet Oterstranden i Gildeskål kommune, hvor ca 90 000 tonn avfall (fra molybdenutvinning), med forhøyede nivåer av naturlig radioaktivitet, er blitt dumpet i strandsonen.

4 Modeller og datautvalg

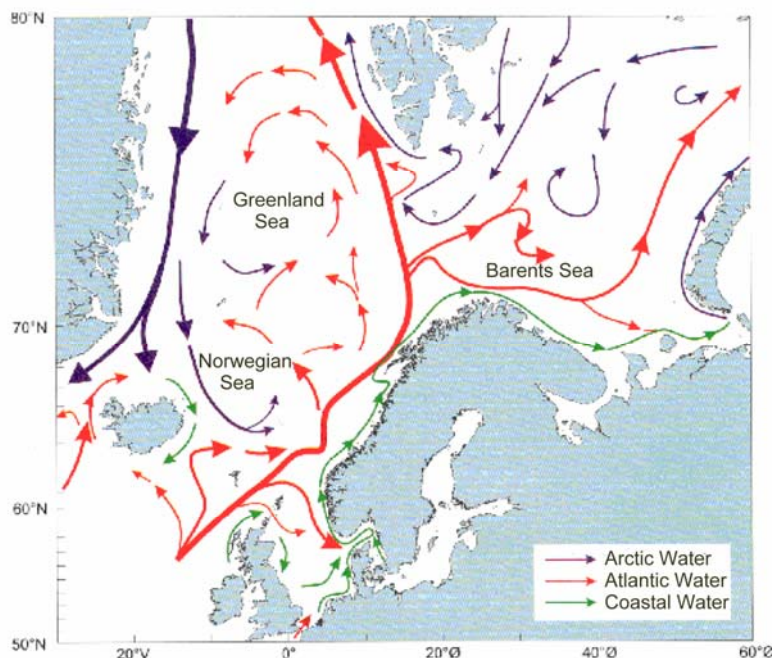
Som det framgår av kapittel 3, er følgende av kildene/tilførselsveiene spesifisert i seksjon 2.1 mest relevante i forbindelse med radioaktiv forurensning i havregionene:

- Tilførsel via havstrømmer fra områder utenfor Norge (alle kilder),
- Petroleumsvirksomhet,
- Avrenning land/elver i Norge

Det tas kun hensyn til disse kildene/tilførselsveiene i den påfølgende teksten.

4.1 Tilførsel via havstrømmer fra områder utenfor Norge

Radioaktive stoffer kan føres nordover fra Vest- og Sentral-Europa med forskjellige havstrømmer (Figur 4.1). Nuklidenes fysiske halveringstid og partikkelreaktivitet være avgjørende for i hvor stor grad de kan transporteres over store avstander. Mobile, langlivede radionuklider, som technetium-99 og strontium-90 vil bli transportert langt av gårde fra utslippspunktet. Mens partikkelreaktive stoffer, som plutonium og americium avsettes hovedsakelig nært utslippspunktet. Radionuklider i sedimentene kan imidlertid senere frigjøres fra sedimentene og føres av gårde med havstrømmene (remobilisering). Remobilisert cesium fra sedimenter i Irskesjøen, er for eksempel en viktig tilførselskilde til cesium-137 i norske havområder. Kortlivede radionuklider (i denne sammenhengen innebærer dette nuklider med halveringstid på opptil noen måneder) vil være av mindre betydning i forbindelse med langtransport pga. henfall før de når norskekysten.



Figur 4.1. Overflatestrømmer i nordlige havområder (kilde: Havforskningsinstituttet)

Ved beregning av tilførsler tas det hensyn til følgende kilder utenfor Norges grenser:

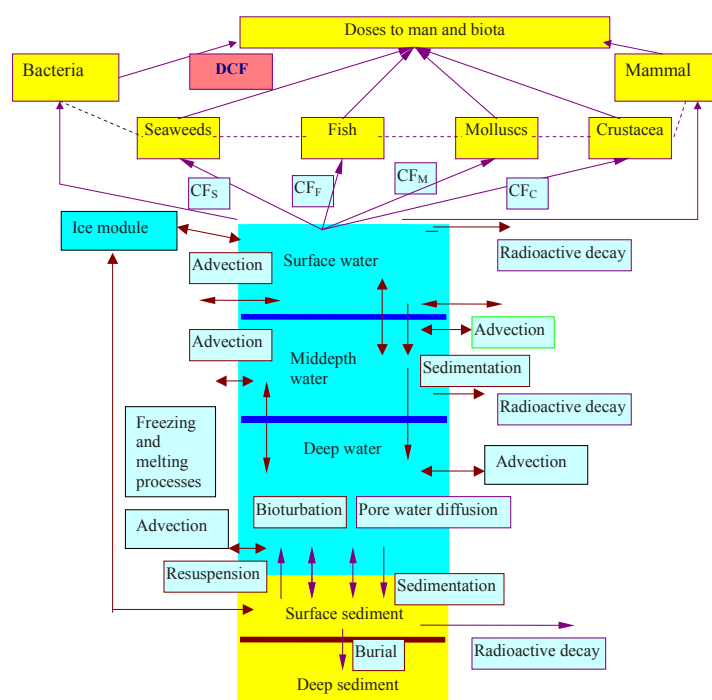
- Kontrollerte utslipp fra Sellafield

- Remobilisering av radioaktive stoffer fra Irskesjøen
- Utstrømming av Tsjernobyl-kontaminert vann fra Østersjøen
- Atmosfæriske kjernevåpentester

For alle ovennevnte kilder er Strålevernets marine boksm modell (Iosjpe et al, 2002; Iosjpe, 2006) blitt brukt til å estimere tilførslene (TBq/år) til ulike havregioner langs norskekysten. Beregningene er basert på hvor mye vann som tilføres havregionen ($m^3/år$) og modellestimerte konsentrasjoner av radioaktive stoffer i vannet (Bq/m^3) (se seksjon 8.1.). Modellens nåværende bokstruktur samsvarer ikke alltid med de ni regionene spesifisert i figur 2.1, og det har derfor vært nødvendig å gjøre noen antakelser i forbindelse med tilførselsberegningene. Dette representerer en kilde til ekstra usikkerhet.

4.1.1 Beskrivelse av transportmodell

Marine boksm modeller kan brukes for å beskrive transport av radionuklider i havområder over større avstander og over lengre tid. Modelleringen omfatter spredning av radionuklider i vann og utveksling av radionuklider mellom vann og sediment. Opptak i og doser til dyr og mennesker kan også beregnes. Boksinnstillingen i Strålevernets marine boksm modell er basert på kunnskaper om bl.a strømningsforhold, ulike miljøfaktorer, samt betydning av de ulike havområdene for eksempel for fiskeri eller nærhet til potensielle kilder. På grunnlag av informasjon om forhold som volum, dybde, strømningsforhold, suspenderte partikler, sedimenteringshastighet og interaksjon, samt fordeling/dynamikk mellom vann og sedimenter, benyttes modellen til å vurdere spredning til boksene over gitte tidsperioder.



Figur 4.2. Transportmodell (skjematisk oversikt).

Ved modellberegningene antas det videre at radionuklider i vannsøylen fins i løst form (som fritt ion i vannfasen) og assosiert med suspenderte partikler. Den partikkelassosierte aktiviteten sedimenterer med suspendert materiale, og blir således en del av bunnsedimentene. Utover dette inkluderer modellen:

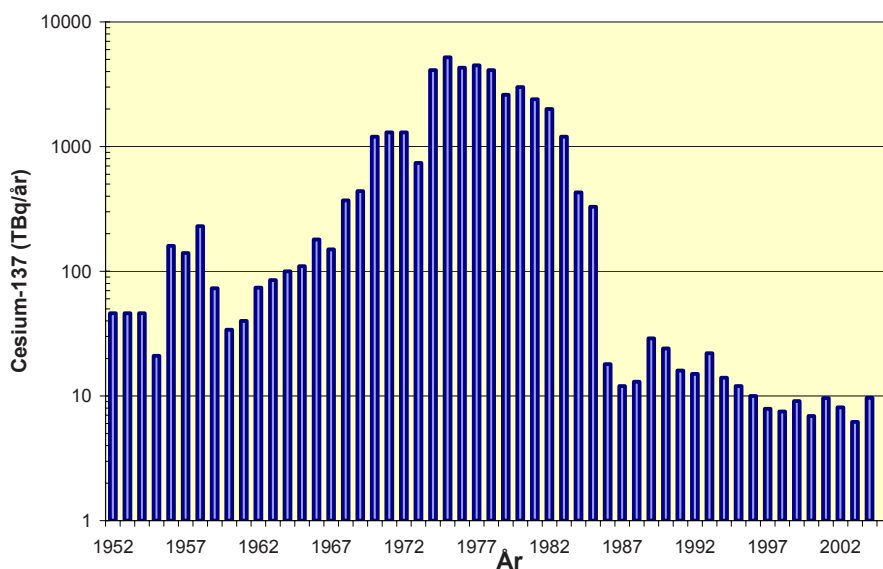
Diffusjon av radionuklider i porevann, resuspensjon, blanding som følge av bioturbasjon, samt nedlekking av radionuklider til dypere sedimentlag. Det tas hensyn til radioaktivt henfall i alle bokser. En nærmere beskrivelse av modellen er gitt i Iosjpe et al. (2002); Iosjpe (2006).

4.1.2 Kontrollerte utslipp fra Sellafield

Det er valgt å fokusere på cesium-137 og technetium-99 i denne rapporten. Konsentrasjonen av begge disse radionuklidene utgjør nasjonale nøkkeltall i forbindelse med radioaktiv forurensning i norske havområder. Andre viktige radionuklider er strontium-90, plutonium-239+240 og americium-241.

4.1.2.1. Cesium-137

Ved modellering tas det hensyn til utslipp fra Sellafield for perioden 1952-2004 (Figur 4.3).



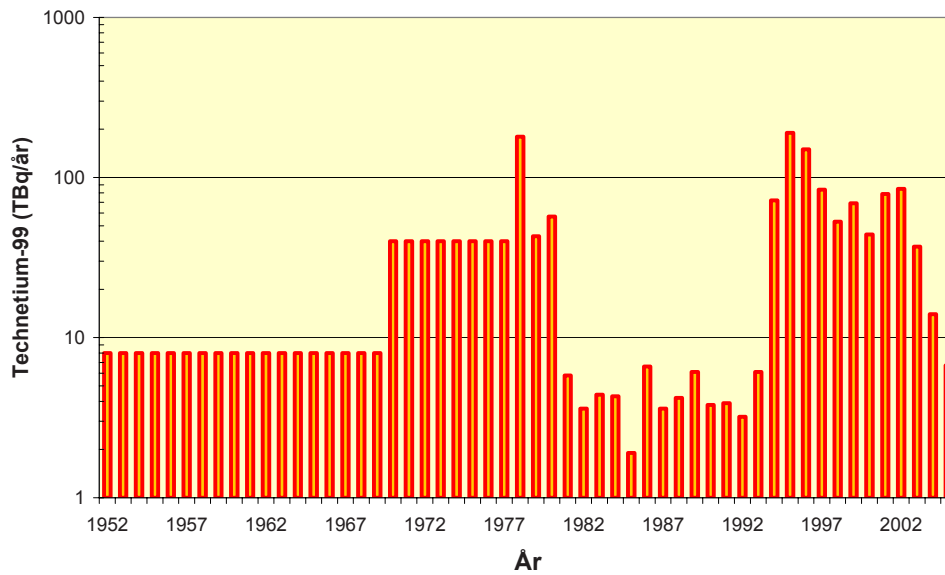
Figur 4.3. Årlige utslipp av cesium-137 fra Sellafield (TBq/år)
(Datakilde: Jackson et al (2000); OSPAR, 2006a and BNFL, 2004)

Som vist i figur 4.3 hadde Sellafield en utslippstopp for cesium-137 på midten av 1970-tallet. Det ble i denne perioden sluppet ut 3000-5000 TBq per år. Utslippskontroll og renseteknologi har siden midten av 80-tallet redusert disse utlippene til rundt 10 TBq per år. Basert på transporttid fra Irskesjøen til norske havområder, er det er blitt valgt ut to år som skal være representative for tilførselen til norske havområder i begge perioder:

1980: Da tilførselen til de fleste norske havområder var på det høyeste. 2006: Dagens tilførsel.

4.1.2.2. Technetium- 99

Ved modellering tas det hensyn til utslipp fra Sellafield for perioden 1952-2005 (Figur 4.4).



Figur 4.4. Årlige utslipp av technetium-99 fra Sellafield (TBq/år)
(Datakilde: Jackson et al (2000); OSPAR 2006a, BNFL, 2004)

Som det framgår av figur 4.4, økte utslippet av technetium-99 fra Sellafield i 1994, fra om lag 4 - 6 TBq per år til et maksimumsnivå på 190 TBq i 1995. Bakgrunnen for denne økningen var at flytende avfall fra 1981 til da hadde blitt lagret i tanker på anlegget i påvente av at et nytt rensenanlegg skulle startes opp. Dette rensenanlegget var ikke konstruert for å fjerne Tc-99 fra avfallet, og da rensingen av det lagrede avfallet startet opp i 1994, gikk Tc-99 i avfallet urensset ut i havet. Fra midten av 1990-tallet gikk utslippene gradvis ned til 85 TBq i 2002. I 2003-2004 utviklet operatøren ved Sellafield-anlegget en ny metode for rensning av technetium-99. Utslippene ble dermed ytterligere redusert (6,7 TBq i 2005).

Det er også for technetium-99 blitt valgt ut to representative tilførselsår:

1998: Da tilførselen til de fleste norske havområder var på det høyeste. 2006: Dagens tilførsel.

4.1.3 Remobilisering av radionuklider fra Irskesjøen

Som nevnt tidligere, kan radioaktive stoffer som har sedimentert ut i Irskesjøen senere frigjøres fra sedimentene og føres ut i Nordsjøen (og deretter transporteres videre nordover med kyststrømmen). Modellering har i denne omgang blitt utført for cesium-137. I tillegg er det kjent at langlivede plutoniumisotoper også remobiliseres. Hvor mye plutonium som tilføres norske havområder fra denne kilden er foreløpig usikkert.

Det er blitt beregnet at 86 TBq remobilisert cesium-137 ble ført ut av Irskesjøen (via North Channel) i 1992 (Cook et al. 1997). Basert på halveringstiden oppgitt i artikkelen (23 år) er remobilisert cesium-137 for perioden 1995-2006 estimert og brukt som input til modellen.

4.1.4 Utstrømming av Tsjernobyl-kontaminert vann fra Østersjøen

Det er blitt anslått at ca 40 TBq cesium-137 ble tilført Kattegat i 2000 (Dahlgaard, 2002). Dersom vi ekstrapolerer fram til i dag, basert på en effektiv halveringstid på 13 år (Povinec et al. 2003) vil denne tilførselen nå være redusert til ca. 30 TBq per år. Ved modelleringen er det tatt hensyn til cesium-137 tilført Kattegat i perioden 1995-2006.

4.1.5 Atmosfæriske kjernevåpentester

Med basis i Dahlgaard et al. 1995 kan den generelle konsentrasjonen av cesium-137 i havvann som følge av kjernevåpensprengningene (med korreksjon for henfall) i dag anslås til $\sim 1,7$ Bq/m³. Dersom vi antar at denne konsentrasjonen er representativ for alle de 9 havregionene, kan tilførsler beregnes basert på årlig vanntilførsel til regionene (m³/år).

4.2 Tilførsler knyttet til petroleumsvirksomhet

4.2.1 Norsk sokkel

Det vil her kun tas hensyn til tilførsler til havregionen (1-9) den enkelte installasjonen ligger i (se tabell 4.1). Foreløpig er det ikke gjort noe forsøk på modellere tilførsler videre til andre regioner. For å vise hvordan radium-226 sprer seg fra ulike kilder i løpet av et år, vises imidlertid data fra et tidligere studium utført med SINTEFs DREAM-modell, (StrålevernRapport 2005:2).

Tabell 4.1. Fordeling av plattformer / installasjoner i de definerte havregionene

Plattform	Region	Plattform	Region	Plattform	Region
Troll A	2	Huldra	3	Tor	3
Troll B	2	Jotun	3	Ula	3
Troll C	2	Oseberg C	3	Valhall	3
Balder	3	Oseberg F	3	Varq	3
Braçe	3	Oseberg S	3	Veslefrikk	3
Ekofisk J	3	Oseberg Ø	3	Vigdis	3
Ekofisk K	3	Sleipner A	3	Visund	3
Eldfisk B	3	Sleipner T	3	Njord	6
Eldfisk FTP	3	Snorre B	3	Heidrun PLT	7
Grane	3	Snorre TLP	3	Norne	7
Gullfaks A	3	Statfjord A	3	Åsgard A	7
Gullfaks B	3	Statfjord B	3	Åsgard B	7
Gullfaks C	3	Statfjord C	3		
Gyda	3	Statfjord C satellitt	3		

DREAM-modellen (Reed et al 1995; Reed et al 2001) er en tredimensjonal modell basert på vertikal og horisontal diffusjon og adveksjon som følge av havstrømmer. Visse forenklede antakelser er blitt gjort, bl.a. at produsert vannet har samme salinitet og temperatur som havvannet det slippes ut i. Det antas videre at alt radium foreligger i løst form. Stømdata er generert fra ECOM-3D-modellen (utviklet av Meteorologisk Institutt); disse er basert på en simulering gjort for Nordsjøen i 1990.



Foto: Statens strålevern

4.2.2 Britisk sektor

Det fins ingen detaljerte studier angående aktivitetskonsentrasjoner av radiumisotoper i produsert vann fra de ulike installasjonene på britisk sektor. Britiske myndigheter har imidlertid estimert utslippene av Ra-226, Ra-228 og Pb-210 til henholdsvis 1082 GBq, 298 GBq og 39 GBq for året 2004 basert på prøver fra 82 installasjoner (OSPAR 2006c).

4.3 Avrenning fra land/elver i Norge

Kildene som er beskrevet i avsnitt 3.5 er enten av mindre betydning utslippsmessig, eller ikke godt nok kartlagt. Det vil følgelig ikke bli gjort forsøk på å kvantifisere tilførselen til havregionene 1-9 i denne rapporten.

5 Resultater og diskusjon

Tilførslestimatene i de påfølgende tabellene er for en stor del avhengige av forhold som størrelsen på regionen, samt vannfluks inn. Dette gjør direkte sammenlikning av tilførsler til de ulike regionene 1-9 problematisk – for eksempel er tilførselen av cesium-137 til region 9 mye høyere enn tilførselen til region 1. Likevel er konsentrasjonen i vannet høyere i region 1 enn i region 9.

5.1 Tilførsel via havstrømmer fra områder utenfor Norge

De viktigste kildene til radioaktiv forurensning i norske havområder ligger utenfor landets grenser. Enkelte kilder, slik som utslipp fra Sellafield er godt beskrevet, men siden utslippene har pågått over så lang tid, vil sekundærkilder som remobilisering være av større betydning enn selve primærutslippene (i hvert fall for radioelementer som cesium og plutonium). Slike sekundære kilder er vanskelig å kvantifisere og det er generell kunnskapsmangel knyttet til dem. Når det gjelder estimerte tilførsler fra bombenedfall og Tsjernobyl-ulykken er disse også temmelig grove.

5.1.1 Cesium-137

Som det framgår av tabell 5.1 er dagens tilførsel av cesium-137 til norske havområder betydelig lavere enn i 1980 - da tilførselen antas å ha vært på det høyeste. Generelt ligger tilførslene i de fleste regioner i dag på 1-2 % av 1980-verdien. Region 5 (16 %) og region 7 (7 %) utgjør unntak i så måte.

Tabell 5.1. Estimert tilførsel av cesium-137 (TBq/år) til norske havregioner for 1980 og 2006 som følge av utslipp fra Sellafield (1952-2004).

Nr	Havregion	1980	2006	% reduksjon
1	Skagerrak (øst for 7 °Ø)	390	6,4	98
2	Kyststrøm, Nordsjøen sør (sør for 62 °N)	1600	37	98
3	Nordsjøen sør utenfor kyststrømmen	1200	21	98
4	Kyststrøm, Nordsjøen nord (62-64 °N)	920	14	98
5	Nordsjøen nord utenfor kyststrømmen	180	29	84
6	Kyststrøm, Norskehavet sør (64-67 °N)	1800	16	99
7	Norskehavet sør utenfor kyststrømmen	290	21	93
8	Norskehavet nord (67-70 °N)	2500	31	99
9	Barentshavet sør (70-75 °N)	2200	52	98

Dersom vi sammenlikner 2006-dataene i Tabell 5.1 med dataene for remobilisering fra Irskesjøen (Tabell 5.2) kan vi se at de er omtrent like høye. Siden 2006-dataene i Tabell 5.1, i tillegg til remobilisering fra andre havområder, også omfatter remobilisering fra Irskesjøen, burde disse vært noe høyere enn tilsvarende data for ”Irskesjøen” i tabell 5.2. Hvorvidt det er modellen som underpredikerer remobilisert cesium-137, eller remobiliseringsestimatet for Irskesjøen som er for høyt, trengs å klarlegges; det er mulig at valget av startboks for remobiliseringsscenarioet – som er basert på ”konservative” kriterier, har hatt betydning i denne sammenheng.

Tabell 5.2. Estimerte tilførsler av cesium-137 (TBq/år) til norske havregioner i 2006 som følge av remobilisering fra Irskesjøen og utstrømming av Tsjernobyl-kontaminert vann fra Østersjøen (1995-2006).

Nr	Havregion	Irskesjøen	Østersjøen	Bombenedfall
1	Skagerrak (øst for 7 °Ø)	7,1	110	37
2	Kyststrøm, Nordsjøen sør (sør for 62 °N)	46	730	160
3	Nordsjøen sør utenfor kyststrømmen	29	460	91
4	Kyststrøm, Nordsjøen nord (62-64 °N)	18	280	74
5	Nordsjøen nord utenfor kyststrømmen	9,8	160	140
6	Kyststrøm, Norskehavet sør (64-67 °N)	18	290	75
7	Norskehavet sør utenfor kyststrømmen	3,7	60	100
8	Norskehavet nord (67-70 °N)	36	570	150
9	Barentshavet sør (70-75 °N)	38	620	240

Ut fra tabell 5.2 utgjør utstrømming av Tsjernobyl-kontaminert vann fra Østersjøen den viktigste tilførselskilden til cesium-137 i de fleste av havregionene. Regionene 5 og 7 skiller seg nok en gang fra de andre – her ser bombenedfall ut til å spille en viktigere rolle. Sellafield/remobilisering fra Irskesjøen er i dag av vesentlig mindre betydning enn de to andre tilførselskildene. Det må nevnes at tilførselen fra Østersjøen varierer betydelig som følge av varierende vannutskiftning via Kattegat fra år til år; estimatet benyttet her har tatt utgangspunkt i en jevn nedgang basert på effektiv økologisk halveringstid på 13 år, og utgjør følgelig en ”gjennomsnittsverdi”.

5.1.2 Technetium-99

Som vist i tabell 5.3. er dagens tilførsel av technetium-99 til norske havområder lavere enn i 1998 - da tilførselen antas å ha vært på det høyeste. Dette er som forventet ut fra utslippsreduksjonene fra Sellafield de siste årene. Et unntak er region 9, hvor dagens tilførsel trolig påvirkes av tidligere utslipp som resirkuleres/akkumuleres i Arktiske havområder. I 1998 hadde ikke toppnivåene nådd disse havområdene.

Tabell 5.3. Estimerte tilførsler av technetium-99 (TBq/år) til norske havregioner for 1998 og 2006 som følge av utslipp fra Sellafield (1952-2005).

Nr	Havregion	1998	2006	% reduksjon
1	Skagerrak (øst for 7 °Ø)	46	15	67
2	Kyststrøm, Nordsjøen sør (sør for 62 °N)	290	78	73
3	Nordsjøen sør utenfor kyststrømmen	140	37	74
4	Kyststrøm, Nordsjøen nord (62-64 °N)	110	30	73
5	Nordsjøen nord utenfor kyststrømmen	22	12	45
6	Kyststrøm, Norskehavet sør (64-67 °N)	180	54	70
7	Norskehavet sør utenfor kyststrømmen	30	14	53
8	Norskehavet nord (67-70 °N)	210	140	33
9	Barentshavet sør (70-75 °N)	140	150	-

5.1.3 Kunnskapshull/videre arbeid

- Remobilisering av radionuklider (særlig cesium-137, plutonium) fra kontaminerte sedimenter i Irskesjøen og Østersjøen er kjent som vesentlige kilder, men det er ikke tilstrekkelig kunnskap om hvor mye dette utgjør og eventuelle variasjoner i frigjøring av stoffene fra havbunnen. Særlig når det gjelder plutonium mangler det også kunnskap om transportprosessene i vannsøylen og med havstrømmer til norske havområder.
- Beregninger av cesium-137 tilførsler med utstrømming av vann fra Østersjøen bør forbedres.
- Forbedre foreliggende tilførselsberegninger ved videreutvikling av spredningsmodellen
- Beregninger av tilførsler bør omfatte flere radionuklider (strontium-90, plutonium og americium-241, eventuelt også andre transuraner og I-129)

5.2 Petroleumsvirksomhet

5.2.1 Norsk sokkel

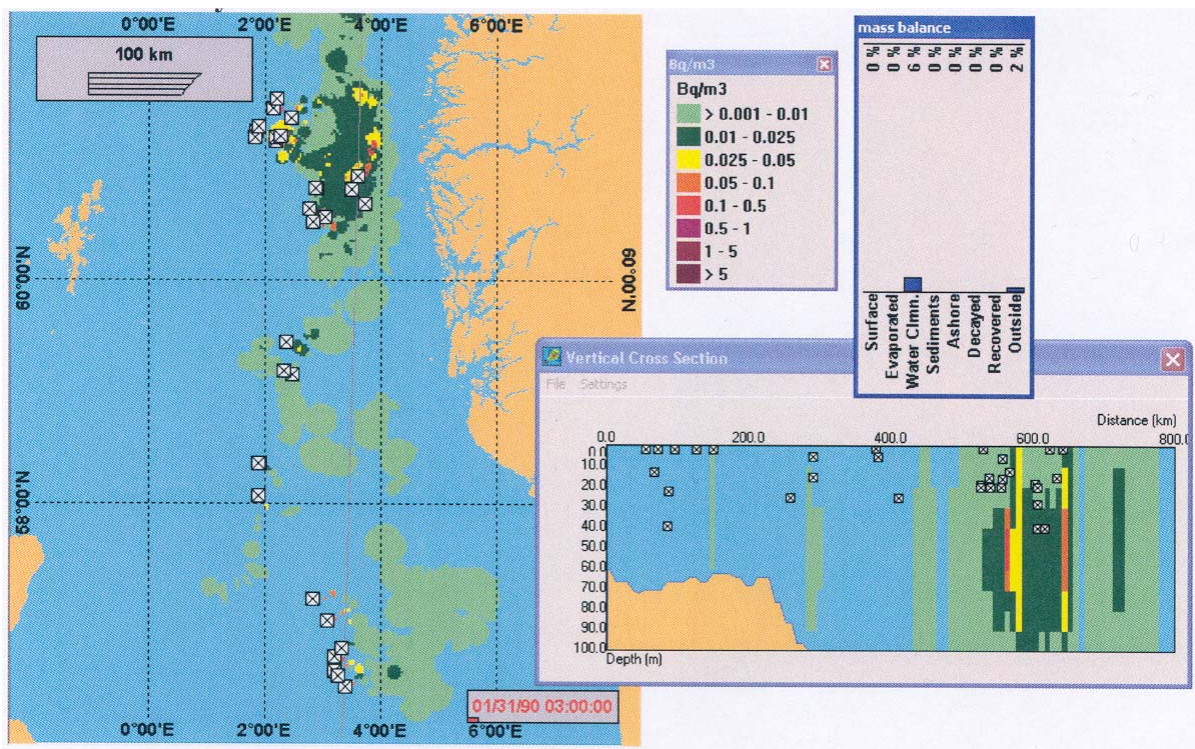
Det må igjen bemerkes at tilførslene i tabell 5.4 bare tar hensyn til utslippene i 2003, og at resultatene ikke inkluderer videre spredning fra tilførselsregionen til andre regioner. Som det framgår av tabell 5.4 er det størst tilførsel til regionene 2 og 3 – det kan også være verdt å nevne at de tre installasjonene i region 2 bidrar med like mye radium som de 32 installasjonene i region 3. Dette skyldes hovedsakelig de relativt store utslippene fra Troll B og C (se figur 3.3).

Tabell 5.4. Tilførsel av naturlige radionuklider (GBq/år) til norske havregioner som følge av utslipp av produsert vann i forbindelse med petroleumsvirksomhet i 2003.

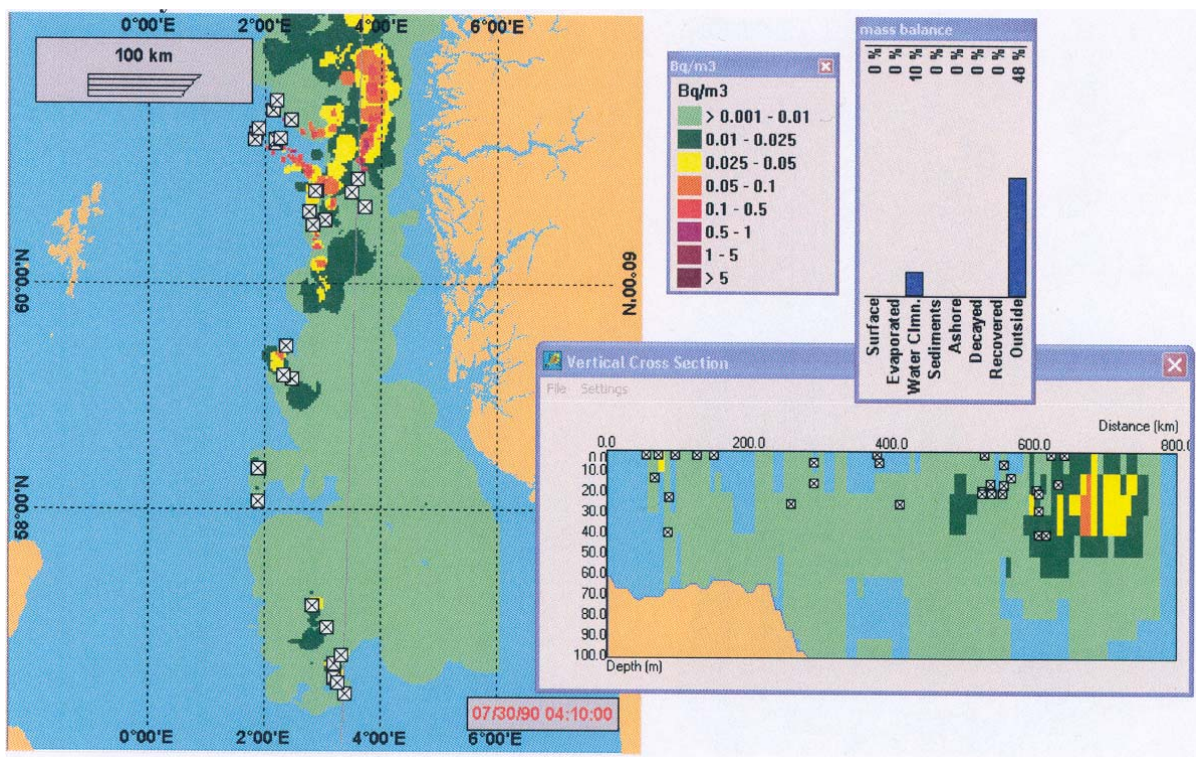
Region	Havregion	Antall plattformer	Ra-226	Ra-228
1	Skagerrak (øst for 7 °Ø)	-	-	-
2	Kyststrøm, Nordsjøen sør (sør for 62 °N)	3	190	160
3	Nordsjøen sør utenfor kyststrømmen	32	220	180
4	Kyststrøm, Nordsjøen nord (62-64 °N)	-	-	-
5	Nordsjøen nord utenfor kyststrømmen	-	-	-
6	Kyststrøm, Norskehavet sør (64-67 °N)	1	1,4	2,8
7	Norskehavet sør utenfor kyststrømmen	4	23	24
8	Norskehavet nord (67-70 °N)	-	-	-
9	Barentshavet sør (70-75 °N)	-	-	-

Spredning av radium-226 i produsert vann fra norsk petroleumsvirksomhet i Nordsjøen modellert med DREAM-modellen er presentert i figurene 5.1-5.3. Figurene viser konsentrasjonsnivået av radium-226 ved dypet med høyest aktivitetskonsentrasjon. Det vertikale tverrsnittet viser hvordan aktivitetskonsentrasjonen varierer med dypet i snittet fra Ekofisk i sør til Trollfeltet i nord.

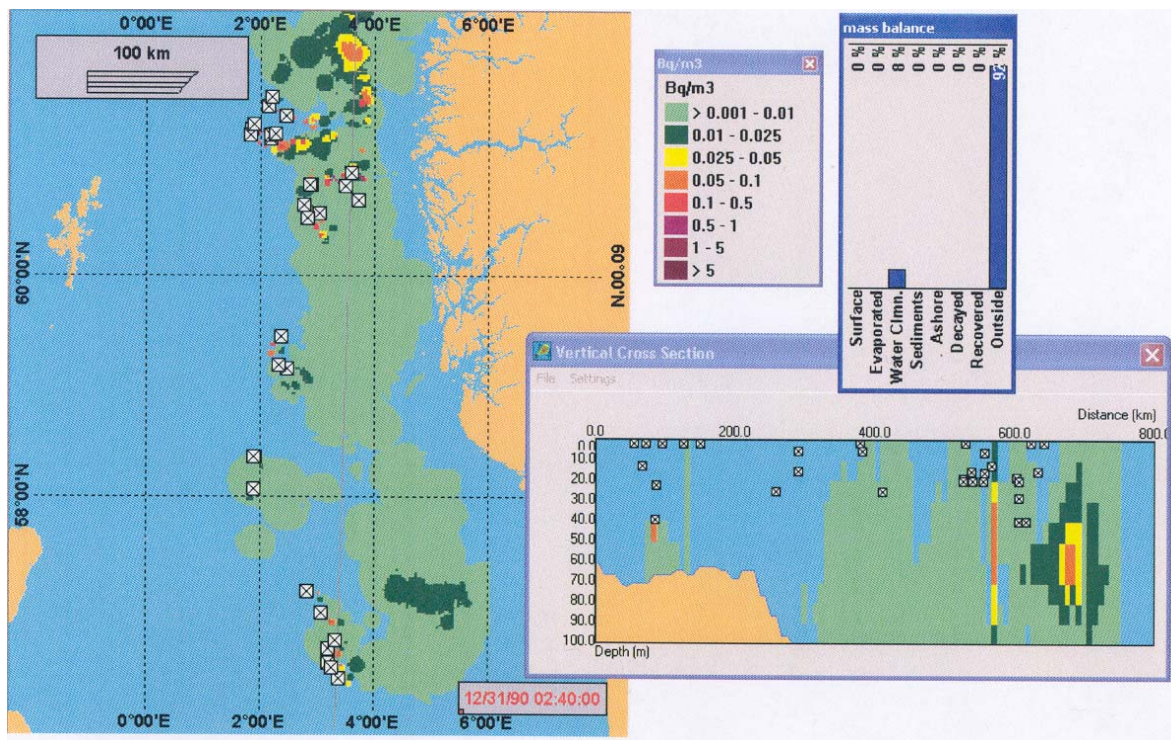
Massebalansen viser hvor stor del av det totale årlige utslippet som ved et tidspunkt er blitt sluppet ut, og hvor stor del som er blitt spredt til områder utenfor det som vises i figuren. Den største delen av utslippet transporteres mot norskekysten og via den norske kyststrømmen videre nordover. Høyest konsentrasjon av radium-226 finnes i Tampen området, rundt Troll B og C plattformene. Der kan konsentrasjonsbidraget bli opptil ~ 1 Bq per m^3 . Overvåkningsmålinger fra norske havområder har vist at konsentrasjonene av radium-226 i sjøvann (overflatevann) ligger mellom 1-3 Bq per m^3 (se avsnitt 8.2.6). Gjennomsnittlig nivå i overflatevann i Nord-Atlanteren er oppgitt til ca 1,5 Bq/ m^3 (IAEA, 1990).



Figur 5.1. Konsentrasjonsfelt for ^{226}Ra i Nordsjoen (januar).



Figur 5.2. Konsentrasjonsfelt for ^{226}Ra i Nordsjoen (juli).



Figur 5.3. Konsentrasjonsfelt for ^{226}Ra i Nordsjøen (desember).

5.2.2 Britisk sektor

Britiske myndigheter har beregnet utslippene av radium-226 og radium-228 fra produsert vann i britisk sektor til henholdsvis 1082 GBq og 298 GBq. En vesentlig del av dette vil kunne tilføres norske havområder, men det er imidlertid ikke publisert noen detaljer om bla. bidrag fra de ulike installasjonene som gjør det mulig å beregne dette.

5.2.3 Kunnskapshull/videre arbeid

- Kunnskapen om tilførsler av naturlig forekommende radionuklider fra petroleumsvirksomheten i britisk sektor er svært mangelfull.
- Det er nødvendig å forbedre kunnskapen når det gjelder spredning av radiumisotoper fra den samlede petroleumsvirksomheten i Nordsjøen. Modellberegninger bygger på antagelser som ikke er verifisert ved feltundersøkelser og målinger. Det er særlig behov for mer forskning angående løselighet og sedimentasjon av radium fra utslippene.

5.3 Avrenning fra land/elver i Norge

Som omtalt i seksjon 4.3. har vi i denne rapporten valgt å ikke inkludere tilførslene til norske havregioner som følge av avrenning fra land/elver i Norge (herunder kontrollerte utslipp). Utslippene fra IFE til henholdsvis Nitelva (IFE Kjeller) og Tista (IFE Halden) er imidlertid gitt i tabellene 3.2. og 3.3. Tilførslene til region 1 kan være lavere enn disse utslippene ved at noe sedimenterer underveis. Særlig Kjeller-utslippene vil også fortynnes betydelig før de når Oslofjorden: Det er for eksempel estimert at cesium-137 fortynnes minst 80 ganger (OSPAR, 2006b).

Når det gjelder kilder som ikke er godt nok kartlagt vil det være nødvendig med videre arbeid knyttet til:

- Avrenning av radioaktivt cesium fra land (spesielt fra Tsjernobyl-kontaminerte områder).

- Avrenning som følge av gruvevirksomhet (for eksempel fra Oterstranden i Gildeskål kommune)
- Utslipp av radionuklider fra sykehus via renseanlegg

6 Sammenfattende oppstilling (viktigste kilder)

En oversikt over tilførsler av cesium-137 og technetium-99 til norske havregioner er vist i henholdsvis figur 6.1 og 6.2. Overvåkningsmålingene det henvises til i teksten er nærmere presentert i Vedlegg 8.2.1 (cesium-137) og 8.2.3 (technetium-99).

1. Skagerrak (øst for 7 °Ø)

Den viktigste tilførselskilden for cesium-137 i denne havregion er Østersjøen som står for ~70 %. Bombenedfall utgjør om lag 25 %, mens de resterende 5 % er et resultat av tidligere og nåværende utslipp fra Sellafield-anlegget. Skagerrak er havregionen med høyest konsentrasjon av cesium-137 – overvåkningsdata fra 2003/2004 viser vannkonsentrasjoner på ca 20 Bq/m³. Det er stadig forhøyde nivåer av technetium-99 i vann, tang og hummer. Så å si alt technetium kommer fra Sellafield (dagens bidrag fra La Hague i Frankrike er ubetydelige).

2. Kyststrøm, Nordsjøen sør (sør for 62 °N)

For cesium-137 er fordelingen mellom tilførselskilder er omtrent lik Skagerrak (region 1). Gjennomsnittskonsentrasjoner i vann (2003/2004) er imidlertid noe lavere (ca 10 Bq/m³). For technetium-99 er gjennomsnittskonsentrasjonen i vann noe høyere enn i region 1.

3. Nordsjøen sør utenfor kyststrømmen

For cesium-137 er bidraget fra ulike tilførselskilder 80 % fra Østersjøen, 15 % fra bombenedfall og 5 % fra Sellafield. Vannkonsentrasjonene av cesium-137 (2003/2004) er tilsvarende region 2. For technetium-99 er konsentrasjonene blant de høyeste i norske havområder (2003/2004).

4. Kyststrøm, Nordsjøen nord (62- 64 °N)

For cesium-137 er fordelingen mellom tilførselskilder omtrent lik region 1-3. Vannkonsentrasjonene av cesium-137 (2003/2004) er ca halvparten av region 2 og 3, eller om lag 1/3 av konsentrasjonene i region 1. Konsentrasjonene av technetium-99 i vann er tilsvarende de i region 3.

5. Nordsjøen nord utenfor kyststrømmen

For cesium-137 er fordelingen mellom tilførselskilder forskjellig fra region 1-4: Om lag 50 % kommer fra Østersjøen, 40 % fra bombenedfall og 10 % fra Sellafield. Overvåkningsmålinger fra 2003/2004 viser også lavere konsentrasjoner i sjøvann sammenliknet med regionene 1-4 (2 Bq/m³). Ingen overvåkningsmålinger ble gjort innen denne regionen for technetium-99 i 2003/2004.

6. Kyststrøm, Norskehavet sør (64-67 °N)

For cesium-137 er fordelingen mellom tilførselskilder som for regionene 1-4. Konsentrasjoner i sjøvann (2003/2004) er ca. 5 Bq/m³. For technetium-99 er ikke vannkonsentrasjonene nevneverdig forskjellig fra nivåene i kyststrømmen lengre sør.

7. Norskehavet sør utenfor kyststrømmen

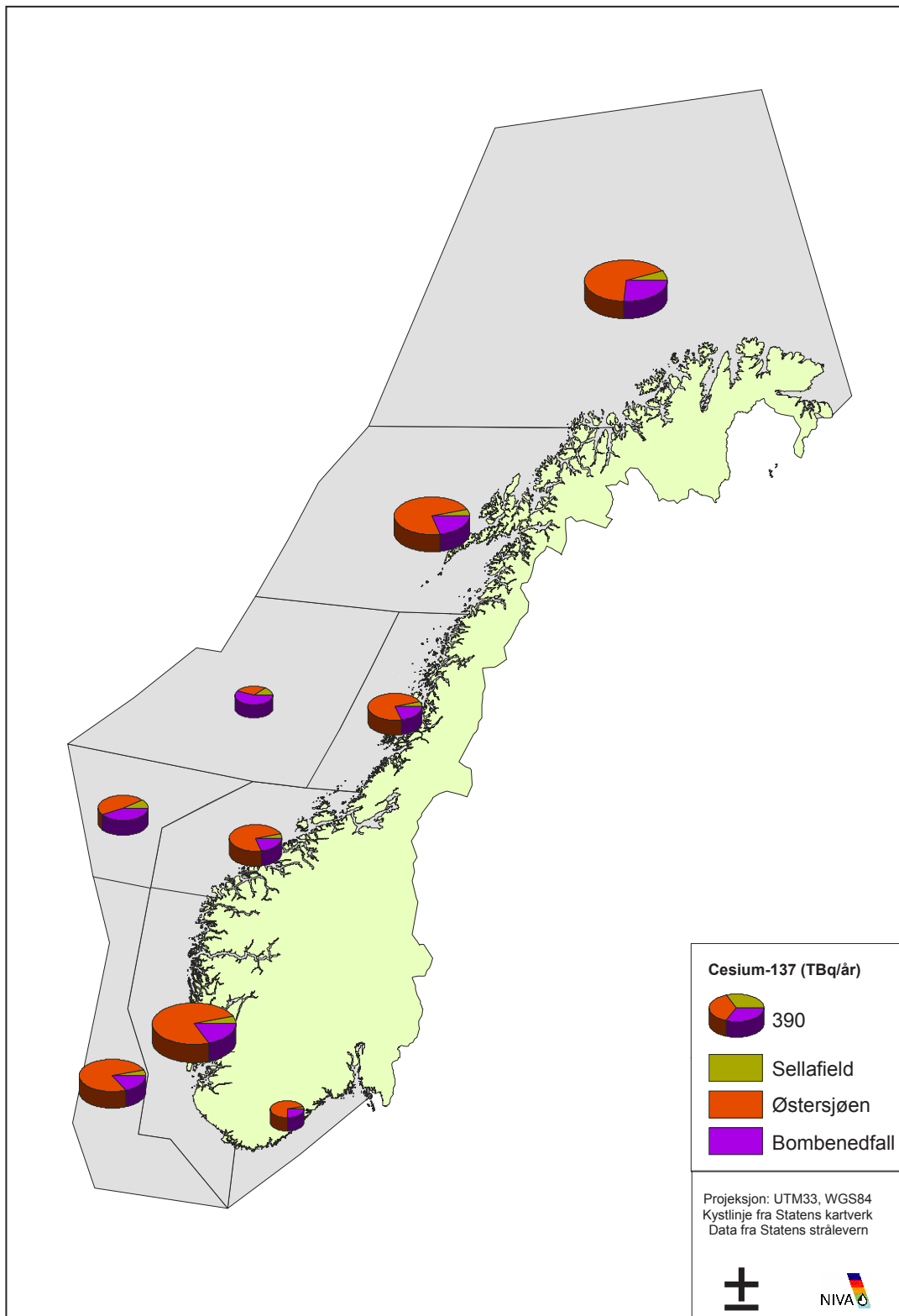
For cesium-137 utgjør bombenedfall den viktigste tilførselskilden for denne havregionen (60 %). Ellers kommer ca. 30 % fra Østersjøen og 10 % fra Sellafield. Ingen overvåkningsmålinger for årene 2003/2004 for verken cesium-137 eller technetium-99.

8. Norskehavet nord (67-70 °N)

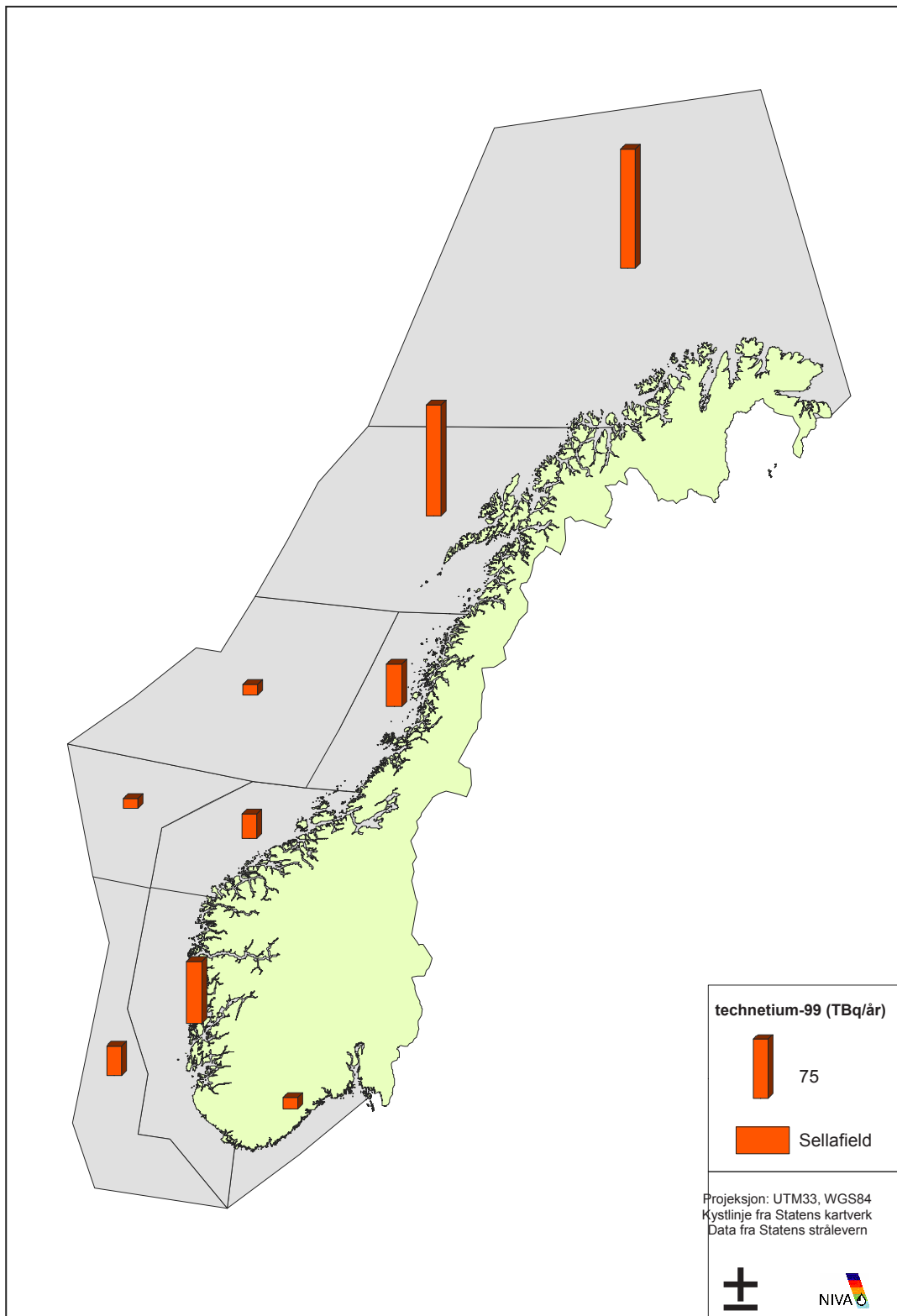
For cesium-137 er fordelingen mellom tilførselskilder som for region 1-4 og 6. Konsentrasjoner i sjøvann (2003/2004) er ca. 3 Bq/m³. For technetium-99 er vannkonsentrasjonene lavere enn lengre sør (<1 Bq/m³).

9. Barentshavet syd (70-75 °N)

Spesielt usikre tilførselsdata for denne regionen. Resultatene for cesium-137 antyder at 70 % kommer fra Østersjøen, 25 % fra bombenedfall og 5 % fra Sellafield. Overvåkningsmålinger 2003/2004 viser vannkonsentrasjoner tilsvarende dem i region 8. For technetium-99 er vannkonsentrasjonene under 1 Bq/m³ (2003/2004).



Figur 6.1. Tilførsel av cesium-137 (TBq/år) fordelt på regioner og hovedkilder



Figur 6.2. Tilførsel av technetium-99 (TBq/år) fra Sellafield fordelt på regioner

7 REFERANSER

AMAP, 1998

AMAP. AMAP assesment report: Arctic pollution issues. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme, AMAP, 1998.

BNFL, 2004

BNFL (2004). Discharges and monitoring of the environment in the UK. Annual Report 2003. Warrington: British Nuclear Fuels, BNFL, 2004.

Cook et al. (1997)

Cook GT et al. Remobilization of Sellafield-derived radionuclides and transport from the North-East Irish Sea. *Journal of Environmental Radioactivity* 1997; 35: 227-241.

Dahlgaard et al. 1995

Dahlgaard H et al. On the background level of ^{99}Tc , ^{90}Sr and ^{137}Cs in the North Atlantic. *Journal of Marine Systems* 1995; 6: 571-578.

Dahlgaard, 2002

Dahlgaard H. Baltic ^{137}Cs outflow through the Danish Straits indicates remobilisation. In: Strand P, Børretzen P, Jølle T, eds. International conference on radioactivity in the environment, Monaco 2002. Extended abstracts. Østerås: Norwegian Radiation Protection Authority, 2002: 516-520.

Evans, 1991

Evans S. Impacts of the Chernobyl fallout in the Baltic Sea ecosystem. In: Moberg L, ed. The Chernobyl fallout in Sweden. Stockholm: Swedish Radiation Protection Institute, 1991: 109-127.

IAEA, 1990

IAEA (1990). The environmental behaviour of radium. Vol. 1. International Atomic Energy Agency, IAEA, Technical Reports Series No. 310. Vienna: IAEA, 1990.

Iosjpe et al. 2002

Iosjpe M, Brown J, Strand P. Modified approach for box modelling of radiological consequences from releases into marine environment. *Journal of Environmental Radioactivity* 2002; 60: 91-103.

Iosjpe, 2006

Iosjpe M. Environmental modelling: Modified approach for compartmental models. In: Povinec PP, Sanchez-Cabeza JA, eds. Radionuclides in the environment: International conference on isotopes in environmental studies: Aquatic forum, Monaco 2004. *Radioactivity in the Environment*, vol.8. Amsterdam: Elsevier, 2006: 463-476.

Jackson, 2000

Jackson D, Lambers B, Gray J. Radiation doses to members of the public near Sellafield, Cumbria, from liquid discharges 1952-1998. *Journal of Radiological Protection* 2000; 20: 139-167.

Molvær et al. 2007

Molvær J, Barkved L, Borgvang S, Isachsen, P E, Nilsson H C. (2007). Beregning av regionale tilførsler av olje og kjemikalier til norske kyst- og havområder. NIVA/SFT-rapport. Under arbeid.

OSPAR, 2006

OSPAR, 2006. OSPAR report on discharges, spills and emissions from offshore oil and gas installations in 2004. Offshore Oil and Gas Industry, Publication number 296/2006. London: OSPAR Commission, 2006.

http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00296_Offshore%20report%202004.pdf
(03.01.07)

OSPAR, 2006a

OSPAR, 2006a. Liquid discharges from nuclear installations in 2004. Radioactive substances series, Publication number 297/2006. London: OSPAR Commission, 2006.

http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00297_liquid%20discharges%20in%202004.pdf
(03.01.07)

OSPAR, 2006b

OSPAR, 2006b. PARCOM recommendation 91/4 on radioactive discharges: Norway's report on the implementation of PARCOM recommendation 91/4 on radioactive discharges for 2006. Radioactive substances series, Publication number 300/2006. London: OSPAR Commission, 2006.

http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00300_Norwegian%20imp%20report%20of%20PARCOM%20Rec%2091_4.pdf
(03.01.07)

OSPAR, 2006c

OSPAR, 2006c. First periodic evaluation of progress towards the objective of the OSPAR radioactive substances strategy. Radioactive Substances Series, Publication number 302/2006. London: OSPAR Commission, 2006.

http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00302_First%20Periodic%20Evaluation.pdf
(3.01.07)

Povinec et al. 2003

Povinec PP et al. Temporal and spatial trends in the distribution of ¹³⁷Cs in surface waters of Northern European Seas – a record of 40 years of investigations. Deep-Sea Research II 2003; 50: 2785-2801.

Reed et al. 1995

Reed M et al. A three-dimensional oil and chemical spill model for environmental impact assessment. Paper presented at the 1995 Oil Spill Conference, Long Beach, California, USA, 27 February - 2 March 1995.

Reed et al. 2001

Reed M et al. DREAM: a dose-related exposure assessment model: Technical description of physical-chemical fates components. Paper presented at the 5th Int. Marine Environmental Modelling Seminar, New Orleans, USA, October 9-11, 2001.

SFT, 2003

SFT. Nullutslipp til sjø fra petroleumsvirksomheten: Status og anbefalinger. Rapport fra Nullutslippgruppen Statens forurensningstilsyn, Oljeindustriens landsforening og Oljedirektoratet. Oslo: Statens forurensningstilsyn, 2003. <http://www.sft.no/publikasjoner/vann/1962/ta1962.pdf>
(03.01.07)

StrålevernRapport 2001:9

StrålevernRapport 2001:9. Radioactivity in the marine environment (RAME) 1999. Østerås: Statens strålevern, 2001.

<http://www.nrpa.no/applications/system/publish/view/showLinks.asp?ips=1&archive=1000148>
(03.01.07)

StrålevernRapport 2005:2

StrålevernRapport 2005:2. Natural radioactivity in produced water from the Norwegian oil and gas industry in 2003. Østerås: Statens strålevern, 2005.

<http://www.nrpa.no/applications/system/publish/view/showLinks.asp?ips=1&archive=1000181>
(03.01.07)

StrålevernRapport 2005:20

StrålevernRapport 2005:20. Radioactivity in the marine environment 2003. Results from the Norwegian national monitoring programme (RAME). Østerås: Statens strålevern, 2005.

<http://www.nrpa.no/applications/system/publish/view/showLinks.asp?ips=1&archive=1000125>
(03.01.07)

StrålevernRapport 2006:14

StrålevernRapport 2006:14. Radioactivity in the marine environment 2004: Results from the Norwegian national monitoring programme (RAME). Østerås: Statens strålevern, 2006.

<http://www.nrpa.no/applications/system/publish/view/showLinks.asp?ips=1&archive=1001396>
(03.01.07)

UNSCEAR 2000a

UNSCEAR 2000a. United Nations Scientific Committee on the Effects on Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation: United Nations report to the general assembly, with scientific annexes. Volume I: Sources. New York: United Nations, 2000.

UNSCEAR 2000b

UNSCEAR 2000b. United Nations Scientific Committee on the Effects on Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation: United Nations report to the general assembly, with scientific annexes. Volume II: Effects. New York: United Nations, 2000.

8 VEDLEGG

8.1 Grunnlagsdata for tilførselsestimer

Tabell 8.1. Grunnlagsdata for tilførsel av cesium-137 og technetium-99 fra Sellafield til norske havområder for ulike år

Fra boks no.*	Til region	Vanntilførsel (m ³ /år)	Cs_1980 (Bq/m ³)	Cs_2006 (Bq/m ³)	Tc_1998 (Bq/m ³)	Tc_2006 (Bq/m ³)
276	1	2.7E+11	6.7E+01	4.8E-01	8.0E+00	1.7E+00
279	1	5.9E+12	9.2E+00	2.6E-01	1.2E+00	7.0E-01
282	1	1.3E+13	2.2E+01	3.3E-01	2.6E+00	7.0E-01
296	1	2.0E+12	9.0E+00	1.8E-01	1.0E+00	6.6E-01
276	2	2.4E+13	6.7E+01	4.8E-01	8.0E+00	1.7E+00
286	2	5.2E+13	1.1E+01	3.8E-01	1.2E+00	4.0E-01
290	2	2.0E+13	1.8E+01	3.0E-01	1.9E+00	8.3E-01
286	3	4.1E+13	1.1E+01	3.8E-01	1.2E+00	4.0E-01
276	3	1.2E+13	6.7E+01	4.8E-01	8.0E+00	1.7E+00
282	3	0.0E+00	2.2E+01	3.3E-01	2.6E+00	7.0E-01
282	3	0.0E+00	2.2E+01	3.3E-01	2.6E+00	7.0E-01
116	4	2.6E+12	3.1E+00	3.6E-01	1.3E-01	2.7E-01
282	4	4.1E+13	2.2E+01	3.3E-01	2.6E+00	7.0E-01
286	5	1.6E+13	1.1E+01	3.8E-01	1.2E+00	4.0E-01
282	5	0.0E+00	2.2E+01	3.3E-01	2.6E+00	7.0E-01
134	5	6.6E+13	1.4E-01	3.5E-01	5.1E-02	8.5E-02
135	5	0.0E+00	9.3E-02	3.7E-01	5.2E-02	7.9E-02
100	6	4.1E+13	4.4E+01	3.7E-01	4.3E+00	1.3E+00
116	6	2.6E+12	3.1E+00	3.6E-01	1.3E-01	2.7E-01
118	6	3.2E+11	8.3E-01	4.7E-01	8.6E-02	2.5E-01
119	6	1.6E+11	2.1E-03	7.7E-02	6.6E-03	1.0E-02
94	7	3.2E+12	1.1E+00	5.1E-01	1.0E-01	2.2E-01
97	7	6.3E+12	7.5E-03	1.2E-01	1.2E-02	1.6E-02
100	7	5.3E+12	4.4E+01	3.7E-01	4.3E+00	1.3E+00
101	7	0.0E+00	4.3E+01	3.8E-01	3.1E+00	1.9E+00
104	7	1.6E+12	3.0E+01	3.5E-01	2.5E+00	1.6E+00
105	7	0.0E+00	3.0E+01	3.5E-01	2.0E+00	1.8E+00
106	7	1.9E+11	1.3E-01	7.1E-01	8.7E-02	1.2E-01
107	7	9.5E+10	1.2E-04	9.3E-03	7.1E-04	1.5E-03
134	7	4.4E+13	1.4E-01	3.5E-01	5.1E-02	8.5E-02
134	7	0.0E+00	1.4E-01	3.5E-01	5.1E-02	8.5E-02
104	8	8.2E+13	3.0E+01	3.5E-01	2.5E+00	1.6E+00
105	8	0.0E+00	3.0E+01	3.5E-01	2.0E+00	1.8E+00
116	8	5.3E+12	3.1E+00	3.6E-01	1.3E-01	2.7E-01
117	8	0.0E+00	2.1E+00	3.7E-01	7.6E-02	2.8E-01
118	8	6.3E+11	8.3E-01	4.7E-01	8.6E-02	2.5E-01
119	8	3.2E+11	2.1E-03	7.7E-02	6.6E-03	1.0E-02
33	9	7.9E+12	2.9E+00	5.9E-01	2.0E-01	1.1E+00
110	9	8.2E+13	2.5E+01	3.5E-01	1.6E+00	1.6E+00
116	9	3.2E+13	3.1E+00	3.6E-01	1.3E-01	2.7E-01
117	9	3.2E+12	2.1E+00	3.7E-01	7.6E-02	2.8E-01
122	9	1.6E+13	3.2E+00	3.7E-01	1.1E-01	3.0E-01

*Representerer bokser i strålevernets transportmodell

Tabell 8.2. Grunnlagsdata for tilførsel av cesium-137 til norske havregioner fra ulike kilder i 2006

Fra boks no.	Til region	Vanntilførsel (m ³ /år)	Cs_Irskesjøen (Bq/m ³)	Cs_Østersjøen (Bq/m ³)	Cs_Bombenedfall (Bq/m ³)
276	1	2,7E+11	4,2E-01	6,6E+00	1,7E+00
279	1	5,9E+12	1,5E-01	2,4E+00	1,7E+00
282	1	1,3E+13	4,3E-01	6,8E+00	1,7E+00
296	1	2,0E+12	1,6E-01	2,7E+00	1,7E+00
276	2	2,4E+13	4,2E-01	6,6E+00	1,7E+00
286	2	5,2E+13	5,7E-01	9,1E+00	1,7E+00
290	2	2,0E+13	3,2E-01	5,2E+00	1,7E+00
286	3	4,1E+13	5,7E-01	9,1E+00	1,7E+00
276	3	1,2E+13	4,2E-01	6,6E+00	1,7E+00
282	3	0,0E+00	4,3E-01	6,8E+00	1,7E+00
282	3	0,0E+00	4,3E-01	6,8E+00	1,7E+00
116	4	2,6E+12	5,1E-02	8,4E-01	1,7E+00
282	4	4,1E+13	4,3E-01	6,8E+00	1,7E+00
286	5	1,6E+13	5,7E-01	9,1E+00	1,7E+00
282	5	0,0E+00	4,3E-01	6,8E+00	1,7E+00
134	5	6,6E+13	1,3E-02	2,2E-01	1,7E+00
135	5	0,0E+00	1,1E-02	1,9E-01	1,7E+00
100	6	4,1E+13	4,3E-01	6,9E+00	1,7E+00
116	6	2,6E+12	5,1E-02	8,4E-01	1,7E+00
118	6	3,2E+11	3,6E-02	6,5E-01	1,7E+00
119	6	1,6E+11	2,5E-04	4,7E-03	1,7E+00
94	7	3,2E+12	4,4E-02	7,6E-01	1,7E+00
97	7	6,3E+12	6,1E-04	1,1E-02	1,7E+00
100	7	5,3E+12	4,3E-01	6,9E+00	1,7E+00
101	7	0,0E+00	8,5E-02	1,4E+00	1,7E+00
104	7	1,6E+12	4,3E-01	6,9E+00	1,7E+00
105	7	0,0E+00	8,1E-02	1,3E+00	1,7E+00
106	7	1,9E+11	5,4E-02	9,2E-01	1,7E+00
107	7	9,5E+10	1,7E-02	3,1E-01	1,7E+00
134	7	4,4E+13	1,3E-02	2,2E-01	1,7E+00
134	7	0,0E+00	1,3E-02	2,2E-01	1,7E+00
104	8	8,2E+13	4,3E-01	6,9E+00	1,7E+00
105	8	0,0E+00	8,1E-02	1,3E+00	1,7E+00
116	8	5,3E+12	5,1E-02	8,4E-01	1,7E+00
117	8	0,0E+00	5,0E-02	8,6E-01	1,7E+00
118	8	6,3E+11	3,6E-02	6,5E-01	1,7E+00
119	8	3,2E+11	2,5E-04	4,7E-03	1,7E+00
33	9	7,9E+12	9,7E-02	1,7E+00	1,7E+00
110	9	8,2E+13	4,3E-01	6,9E+00	1,7E+00
116	9	3,2E+13	5,1E-02	8,4E-01	1,7E+00
117	9	3,2E+12	5,0E-02	8,6E-01	1,7E+00
122	9	1,6E+13	-	8,4E-01	1,7E+00

*Representerer bokser i strålevernets transportmodell

8.2 Overvåkningsmålinger 2003-2004

I de følgende avsnittene presenteres en oversikt over overvåkningsmålinger av cesium-137, strontium-90, technetium-99, plutonium-239+240, americium-241, samt det naturlig forekommende radium-226, gjort i 2003 eller 2004. I tillegg er det vist eksempler på tidsserier for utvalgte radionuklider.

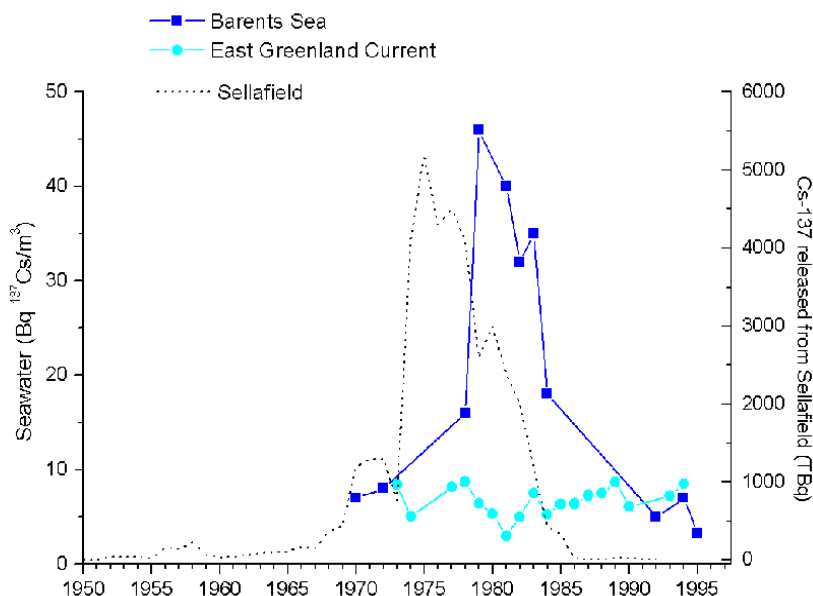
8.2.1 Cesium-137

Tabell 8.3. Aktivitetskonsentrasjon av cesium-137 i havvann (Bq/m^3), sedimenter (Bq/kg tørrvekt), tang (Bq/kg tørrvekt) og fisk (Bq/kg ferskvekt) for 2003/2004. Gjennomsnitt (min-max) (StrålevernRapport 2005:20; StrålevernRapport 2006:14).

Nr	Havregion	Vann	Sedimenter	Tang	Fisk
1	Skagerrak (øst for 7 °Ø)	19 (6,3 - 30)	0,84 - 12	3,0	0,4 - 0,8
2	Kyststrøm, Nordsjøen sør (sør for 62° N)	10 (5,9 - 16)	1,5 - 7,3	1,0	0,8 - 1,7
3	Nordsjøen sør utenfor kyststrømmen	9,7 (4,0 - 13)	2,0 - 2,4	-	0,1 - 0,3
4	Kyststrøm, Nordsjøen nord (62-64°N)	5,8 (4,1 - 7,5)	1,8	0,6	0,8 - 1,7
5	Nordsjøen nord utenfor kyststrømmen	2,1	-	-	-
6	Kyststrøm, Norskehavet sør (64-67 °N)	4,9 (4,1 - 5,7)	9,6	2,3	<0,1 - 0,5
7	Norskehavet sør utenfor kyststrømmen	-	-	-	0,1 - 0,3
8	Norskehavet nord (67-70 °N)	3,2 (2,8 - 4,2)	<0,6 - 16	0,4	0,3
9	Barentshavet sør (70-75 °N)	2,6 (1,8 - 3,4)	<1,1 - 11	0,4	0,2 - 0,4

Tidsserie (eksempel):

Det er blitt utført målinger av Cs-137 i vann fra Barentshavet siden 1970 (AMAP, 1998). Nivåene i havområdet speiler i hovedsak utslippsmønsteret fra Sellafield, med en forskyvning på 5-7 år som skyldes transporttida fra Irskesjøen (Figur 8.1). Toppnivået av Cs-137 på $\sim 50 Bq/m^3$ tidlig på 80-tallet, er trolig det høyeste som har forekommet i Barentshavet.



Figur 8.1. Årlige utslipp fra Sellafield (TBq) sammenliknet med målte konsentrasjoner av ^{137}Cs (Bq/m^3) i sjøvann fra Barentshavet (kilde: AMAP, 1998).

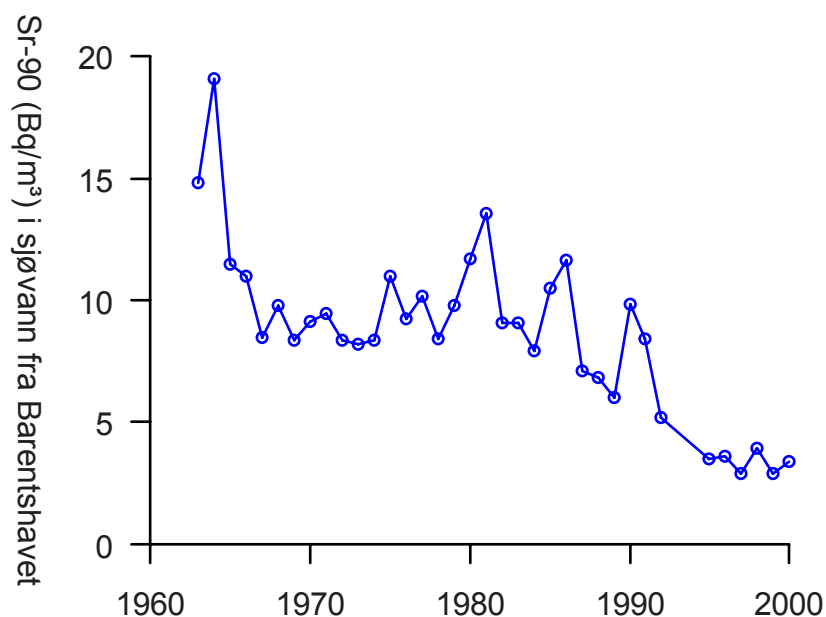
8.2.2 Strontium-90

Tabell 8.4. Aktivitetskonsentrasjon av strontium-90 i havvann (Bq/m^3) og tang (Bq/kg tørrvekt) for 2003/2004. Gjennomsnitt (min-max) (StrålevernRapport 2005:20; StrålevernRapport 2006:14).

Nr	Havregion	Vann	Tang
1	Skagerrak (øst for 7 °Ø)	3,7 (2,2 - 6,1)	0,4
2	Kyststrøm, Nordsjøen sør (sør for 62° N)	2,4 (2,1 - 2,6)	-
3	Nordsjøen sør utenfor kyststrømmen	2,4 (2,0 - 2,8)	-
4	Kyststrøm, Nordsjøen nord (62-64°N)	2,2 (2,0 - 2,3)	-
5	Nordsjøen nord utenfor kyststrømmen	1,0 (0,95 - 1,1)	-
6	Kyststrøm, Norskehavet sør (64-67 °N)	1,9 (1,8 - 1,9)	-
7	Norskehavet sør utenfor kyststrømmen	-	-
8	Norskehavet nord (67-70 °N)	1,9 (1,8 - 1,9)	0,2
9	Barentshavet sør (70-75 °N)	1,2 (0,77 - 1,7)	0,1

Tidsserie (eksempel):

Nivåene av Sr-90 i nordlige havområder stammer i all hovedsak fra nedfall fra atmosfæriske prøvesprengninger. Det er blitt gjort målinger av konsentrasjoner i sjøvann fra Barentshavet siden 1963. Etter maksimumsnivået på 15-20 Bq/m^3 på midten av 1960-tallet (Figur 8.2), har det vært en nedadgående trend (AMAP, 1998).



Figur 8.2. Konsentrasjoner av Sr-90 i overflatevann fra Barentshavet (kilde: 1963-1993, AMAP, 1998; 1993-2000; upublisert data fra AMAP datasenter).

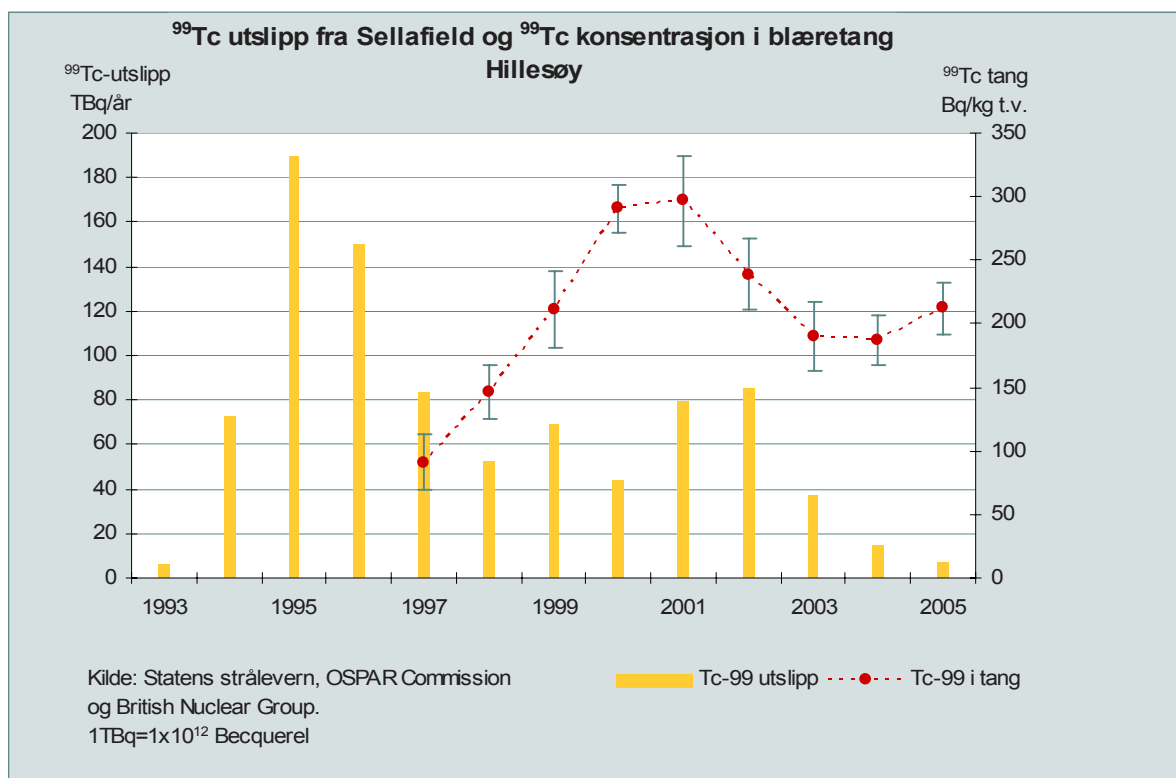
8.2.3 Technetium-99

Tabell 8.5. Aktivitetskonsentrasjon av technetium-99 i havvann (Bq/m^3), tang (Bq/kg tørrvekt) og hummer (Bq/kg ferskvekt) for 2003/2004. Gjennomsnitt (min-max) (StrålevernRapport 2005:20; StrålevernRapport 2006:14).

Nr	Havregion	Vann	Tang	Hummer (♀)	Hummer (♂)
1	Skagerrak (øst for 7 °Ø)	1,0 (0,6 - 1,3)	150	20 - 69	2,0 - 5,0
2	Kyststrøm, Nordsjøen sør (sør for 62° N)	1,5 (1,1 - 1,9)	200	-	-
3	Nordsjøen sør utenfor kyststrømmen	1,8	-	-	-
4	Kyststrøm, Nordsjøen nord (62-64°N)	1,7	170	-	-
5	Nordsjøen nord utenfor kyststrømmen	-	-	-	-
6	Kyststrøm, Norskehavet sør (64-67 °N)	1,2 (1,1 - 1,2)	130	-	-
7	Norskehavet sør utenfor kyststrømmen	-	-	-	-
8	Norskehavet nord (67-70 °N)	0,8 (0,5 - 1,0)	210	-	-
9	Barentshavet sør (70-75 °N)	0,5 (0,2 - 0,9)	95	-	-

Tidsserie (eksempel):

Som et ledd i det marine overvåkningsprogrammet som gjennomføres i samarbeid med Havforskningsinstituttet foretas det målinger av technetium-99 i blære tang fra Hillesøy i Troms. Disse målingene startet sommeren 1997 og gjennomsnittsverdiene økte fra om lag 50 Bq/kg til ca. 170 Bq/kg i 2001. Etter dette har konsentrasjonene gått noe ned (figur 8.3).



Figur 8.3. Tc-99 utslipp fra Sellafield og ⁹⁹Tc konsentrasjon i blæretang fra Hillesøy (1997-2005).

8.2.4 Plutonium-239+240

Tabell 8.6. Aktivitetskonsentrasjon av plutonium-239+240 i havvann (Bq/m^3), sedimenter (Bq/kg tørrvekt) og tang (Bq/kg tørrvekt) for 2003/2004. Gjennomsnitt (min-max) (StrålevernRapport 2005:20; StrålevernRapport 2006:14).

Nr	Havregion	Vann	Sedimenter	Tang
1	Skagerrak (øst for 7 °Ø)	4,8 (3,5 - 7,4)·10 ⁻³	-	-
2	Kyststrøm, Nordsjøen sør (sør for 62° N)	5,9 (5,7 - 6,1)·10 ⁻³	-	44·10 ⁻³
3	Nordsjøen sør utenfor kyststrømmen	12	-	-
4	Kyststrøm, Nordsjøen nord (62- 64°N)	15 (10 - 20)·10 ⁻³	-	-
5	Nordsjøen nord utenfor kyststrømmen	-	-	-
6	Kyststrøm, Norskehavet sør (64-67 °N)	5,3·10 ⁻³	0,5	-
7	Norskehavet sør utenfor kyststrømmen	-	-	-
8	Norskehavet nord (67-70 °N)	6,8 (6,0 - 7,5)·10 ⁻³	1,0	62·10 ⁻³
9	Barentshavet sør (70-75 °N)	7,9 (5,0 - 15)·10 ⁻³	0,13 - 0,14	-

8.2.5 Americium-241

Tabell 8.7. Aktivitetskonsentrasjon av americium-241 i havvann (Bq/m^3) og sedimenter (Bq/kg tørrvekt) for 2003/2004. Gjennomsnitt (min-max) (StrålevernRapport 2005:20; StrålevernRapport 2006:14).

Nr	Havregion	Vann	Sedimenter
1	Skagerrak (øst for 7 °Ø)	2,5 (1,3 - 3,6) ·10 ⁻³	-
2	Kyststrøm, Nordsjøen sør (sør for 62° N)	2,5 (1,6 - 4,7) ·10 ⁻³	-
3	Nordsjøen sør utenfor kyststrømmen	1,9 (1,3 - 2,3) ·10 ⁻³	-
4	Kyststrøm, Nordsjøen nord (62-64°N)	2,3·10 ⁻³	-
5	Nordsjøen nord utenfor kyststrømmen	-	-
6	Kyststrøm, Norskehavet sør (64-67 °N)	1,5·10 ⁻³	0,55
7	Norskehavet sør utenfor kyststrømmen	-	-
8	Norskehavet nord (67-70 °N)	1,9 (1,6 - 2,1) ·10 ⁻³	0,66
9	Barentshavet sør (70-75 °N)	2,3 (1,5 - 3,9) ·10 ⁻³	0,08 - 0,63

8.2.6 Radium-226

Tabell 8.8. Aktivitetskonsentrasjon av radium-226 i havvann (Bq/m^3) for 2004. Gjennomsnitt (min-max) (StrålevernRapport 2006:14).

Nr	Havregion	Vann
1	Skagerrak (øst for 7 °Ø)	2,2
2	Kyststrøm, Nordsjøen sør (sør for 62° N)	2,0 (1,5 - 2,9)
3	Nordsjøen sør utenfor kyststrømmen	1,9 (1,2 - 2,7)
4	Kyststrøm, Nordsjøen nord (62-64°N)	-
5	Nordsjøen nord utenfor kyststrømmen	1,4
6	Kyststrøm, Norskehavet sør (64-67 °N)	-
7	Norskehavet sør utenfor kyststrømmen	-
8	Norskehavet nord (67-70 °N)	-
9	Barentshavet sør (70-75 °N)	-

StrålevernRapport 2006:1

Virksomhetsplan 2006

StrålevernRapport 2006:2

Statens strålevern i Mammografiprogrammet. Resultater fra teknisk kvalitetskontroll hentet fra databaseprogrammet TKK

StrålevernRapport 2006:3

Avvikshåndtering ved norske stråleterapisentre

StrålevernRapport 2006:4

The Norwegian UV Monitoring Network 1995/96 - 2004

StrålevernRapport 2006:5

Sikkerhet ved russiske RBMK-reaktorer. En oppdatert gjennomgang av status

StrålevernRapport 2006:6

Radiologi i Noreg. Undersøkningsfrekvens per 2002, tidstrender, geografisk variasjon og befolkningsdose

StrålevernRapport 2006:7

Tiltak mot radon i privatboliger
Oppsummering av tiltak under Nasjonal kreftplan 1999-2003

StrålevernRapport 2006:8

K-159. Havariet av den russiske atombåten K-159 og den norske atomberedskapsorganisasjonens håndtering av ulykken

StrålevernRapport 2006:9

Monte Carlo Simulations for Gamma Measurements in Monitoring and Emergency Situations

StrålevernRapport 2006:10

Terrestrial Monitoring in Øvre Dividalen

StrålevernRapport 2006:11

Virksomhetsrapport for norske stråleterapisentre 2003-2004

StrålevernRapport 2006:12

Gammaspespektrometriske flymålinger og radon

StrålevernRapport 2006:13

Kvalitetskontroll av ikke-dosimetriske parametre ved CT-basert planlegging av stråleterapi

StrålevernRapport 2006:14

Radioactivity in the Marine Environment 2004
Results from the Norwegian Marine Monitoring Programme (RAME)

StrålevernRapport 2006:15

Threat Assessment of Radioisotope Thermoelectric Generators (RTG) Management Radiation Protection and Safety Regulations

StrålevernRapport 2006:16

Avoiding a "deep" agreement? Why some countries remain reluctant to the Fissile Material Cut-Off Treaty: the cases of the United States and Pakistan

StrålevernRapport 2006:17

Stråledoser ved analog og digital mammografi i Mammografiprogrammet i Troms og Finnmark høsten 2004

StrålevernRapport 2006:18

Årsrapport fra persondosimetritjenesten ved Statens strålevern 2005

StrålevernRapport 2006:19

Review of the current status and operations at Mayak Production Association

StrålevernRapport 2006:20

Radon i uteluft. Presentasjon av resultater fra radonmålinger i uteluft i seks utvalgte områder i Norge

StrålevernRapport 2006:21

Differences in technetium-99 accumulation and distribution between organs in male and female lobsters collected from Norwegian coastal waters

StrålevernRapport 2006:22

Kola kjernekraftverk. En gjennomgang av dagens sikkerhetsnivå