

Beskrivelse av miljøtilstand og konsekvensvurderinger

Oppsummering

Utslipp til luft

Det årlige dosebidraget fra Thor Medical sin produksjon i den nye fabrikk AlphaOne er estimert til mellom 0,96 og 1,72 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ μSv per år for en gjennomsnittlig ansatt i nabobedrifter på Herøya. Doseberegningene er konservativt utført og inkluderer bidrag fra både Rn-220 og datteren Pb-212.

De beregnede dosene ligger langt under eksponeringsgrensen fra én virksomhet for ikke-yrkeseksponerte arbeidstakere på 250 μSv per år som gitt i strålevernforskriften §6. Vår produksjon vil sledes ikke vil gi noen negativ helseeffekt på ansatte i nabobedrifter ved et utslipp på 1162 MBq Rn-220 i løpet av ett år.

Vi har ikke gjort tilsvarende beregning for allmenheten siden de ikke har adgang til Herøya industripark. Nærmeste bebyggelse er mer enn 1 km unna våre utslipp og med den korte halveringstiden til Rn-220 vil kun neglisjerbare mengder kunne nå allmenheten.

Utslipp til sjø

Beregninger gjort med ERICA Tool viser doserater under 10 $\mu\text{Gy}/\text{t}$ for alle relevante organismer, med unntak av fytoplankton der den var 152 $\mu\text{Gy}/\text{t}$. Dette viser at utslippet ikke vil ha en negativ effekt på biota i brakkvann, da kroniske doserater <400 $\mu\text{Gy}/\text{t}$ er vurdert til å ikke kunne gi målbare negative effekter på populasjonsnivå ifølge IAEA, UNSCEAR og USDOE.

Intern eksponering av personer fra svelging av sjøvann eller inntak av sjømat vil være neglisjerbare, gitt de lave konsentrasjonen det blir i Frierfjorden og i brakkvannsorganismer ifølge ERICA Tool.

Vi antar at ekstern eksponering fra sjøvann, sand og sedimenter blir tilsvarende neglisjerbar; dette vil vi verifisere ved miljøovervåkingsprogrammet vårt.

1. Eksponering via luft for ansatte i nabobedrifter til Thor Medical

1.1 Avstander fra utslippene til områder der ansatte i nabobedrifter oppholder seg utendørs (gitte lokasjoner)

Det fins noen områder i nærheten av vårt pilotanlegg der ansatte i andre bedrifter av og til oppholder seg utendørs. Dette gjelder p-plass for biler foran

inngangen til Berenbergs kontorer, sykkelparkering foran Bilfingers bygg, og et pauseareal foran inngangen til Vianode. Disse er vist i figur 1. Utslippspunktene for de fire utslippstrømmene er markert med symbol og tall tilsvarende som beskrevet i kap. 1.2 over.

Avstandene mellom utslippspunkt og lokasjon er beregnet fra toppen av utslippet og ned til 1,5 m over bakken på oppholdsstedet i en rett linje, selv om bygningens struktur i realiteten vil gi noe lengere avstander. Avstandene mellom utslippspunkt og hver lokasjon er gitt i tabell 1. Estimert oppholdstid per dag per lokasjon er gitt i tabell 2.



Figur 1: Lokasjoner der ansatte i nabobedrifter oppholder seg utendørs ved Bygg 125. Utslippspunkter for ventilasjonssystemene markert med firkant for HVAC og sirkel for prosess- og hotcelleventilasjon. Tallene er de samme som angitt i 2) over.

Tabell 1: Avstander i meter fra utslippspunkt til lokasjoner i nærheten av Thor Medicals pilotanlegg

Lokasjon	Pauseareal	P-plass	Sykkelparkering
Utslippspunkt	Avstand i m	Avstand i m	Avstand i m
1) HVAC	35	82	100
2) Prosessventilasjon	27	47	61,2
3) Hotcelleventilasjon	27,5	47,2	61
4) Lab'er	38	34	52

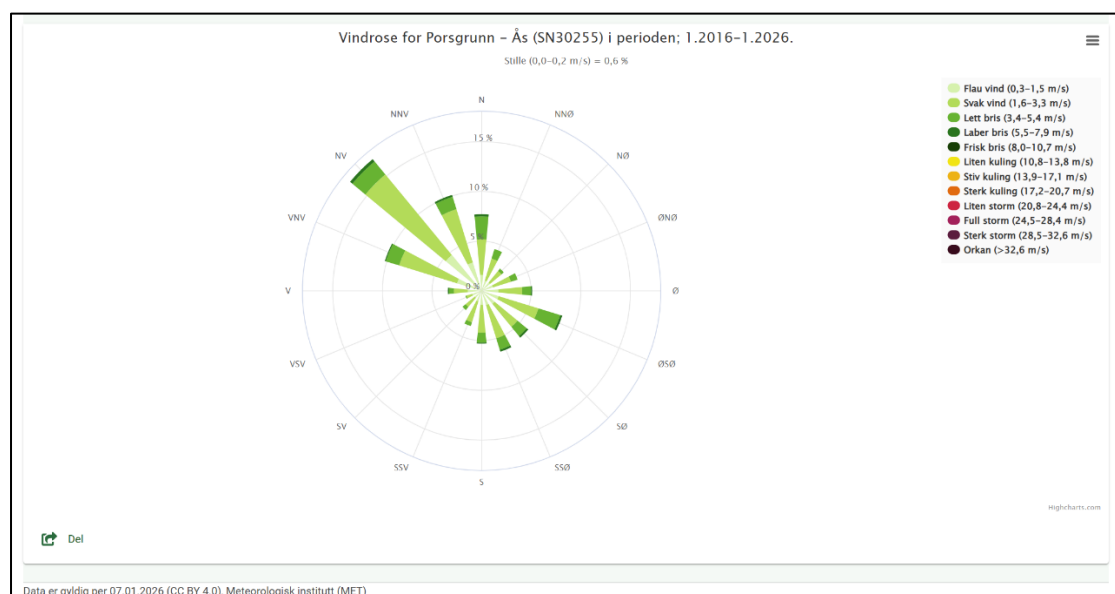
Pipene for prosessventilasjon og hotcelleventilasjon står side ved side. Avstandene til lokasjonene blir derfor svært like for de to pipene. For beregningene som gjøres videre i teksten, vil disse to bli slått sammen til ett punkt (Prosess/hotceller) ved at aktiviteten som slippes ut av hver av pipene summeres før videre beregninger. Avstandene til lokasjonene rundes nedover til laveste verdi.

Tabell 2: Estimert oppholdstid per lokasjon per dag (minutter per dag)

Lokasjon	Pauseareal	P-plass	Sykkelparkering
Oppholdstid (min/d)	60	10	10

1.2 Vindrose for Porsgrunn sentrum og beregning av utslipp til gitte lokasjoner

Meteorologisk institutt (MET) har en målestasjon i Porsgrunn sentrum. Vindrosen for Porsgrunn er gitt i figur 2. Dominerende vindretning er fra nordvest, etterfulgt av nord-nordvest og vest-nordvest. Middelvind og retningen vinden kommer fra, er gitt i tabell 2.



Figur 2: Vindrosedata for Porsgrunn hentet fra [Vindrose med frekvensfordeling - Seklima](#) den 7. januar 2026. Figuren viser middelvindens fra-retning og styrke.

Tabell 2: Middelvind og retningen vinden kommer fra for Porsgrunn i perioden 01.2016-01.2026 (%)

Middelvind (m/s)	N	NNØ	NØ	ØNØ	Ø	ØSØ	SØ	SSØ	S	SSV	SV	VSV	V	VNV	NV	NNV
0,3-1,5	1,6	1,1	1,1	1,2	1,7	1,8	1,7	1,5	1,4	1,1	0,9	1	1,4	2,6	4,7	3
1,6-3,3	3,6	2,3	1,5	1,9	2,4	4,2	3	3,5	2,8	2,2	1,2	0,6	1,4	6,1	10,5	5,6
3,4-5,4	2,3	1	0,3	0,7	0,9	2,3	1,2	1,2	1	0,4	0,4	0,1	0,5	1,4	1,7	1,3
5,5-7,9	0,2	0	0	0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0,1	0,1	0,3	0,2
SUM	7,7	4,4	2,9	3,8	5,1	8,5	6,1	6,4	5,3	3,7	2,5	1,7	3,4	10,2	17,2	10,1

Når Rn-220 slipper ut av pipene, vil luftmassene bevege seg utfra hvor vinden blåser fra. Tabell 3 oppsummerer den dominerende retningen vinden kommer fra for de tre lokasjonene for hvert utslippspunkt. I tabell 4 er de dominerende retningene trukket ut i egen tabell for de tre lokasjonene, med middelvind og retning i % av tiden.

I ett år er det 365 dager. Den prosentvise fordelingen kan da benyttes til å beregne hvor mange dager det blåser fra en gitt vindretning med en gitt vindstyrke. Dette er vist i tabell 5.

Tabell 3: Dominerende vindretning som treffer lokasjonene

Utslippspunkt	Pauseareal	P-plass	Sykkelparkering
HVAC	VNV	NV	NV
Prosess/hotceller	SV	VNV	NV
Lab'er	S	VSV	VNV

Tabell 4: Middelvind og retningen vinden kommer fra (i %) for de tre lokasjonene fra hvert utslippspunkt.

HVAC			
	Pauseareal	P-plass	Sykkelparkering
Middelvind (m/s)	VNV	NV	NV
0,3-1,5	2,6	4,7	4,7
1,6-3,3	6,1	10,5	10,5
3,4-5,4	1,4	1,7	1,7
5,5-7,9	0,1	0,3	0,3
SUM	10,2	17,2	17,2

Prosess/hotceller			
	Pauseareal	P-plass	Sykkelparkering
Middelvind (m/s)	SV	VNV	NV
0,3-1,5	0,9	2,6	4,7

1,6-3,3	1,2	6,1	10,5
3,4-5,4	0,4	1,4	1,7
5,5-7,9	0	0,1	0,3
SUM	2,5	10,2	17,2

Lab'er			
Middelvind (m/s)	S	VSV	VNV
0,3-1,5	1,4	1	2,6
1,6-3,3	2,8	0,6	6,1
3,4-5,4	1	0,1	1,4
5,5-7,9	0,1	0	0,1
SUM	5,3	1,7	10,2

Tabell 5: Antall dager i løpet av ett år der vinden blåser fra en gitt vindretning med en gitt styrke for tre utslippspunkt og tre lokasjoner. Gjennomsnittet for vindstyrke er beregnet for bruk i de videre kalkulasjoner.

HVAC

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Pauseareal VNV (d)	P-plass NV (d)	Sykkelparkering NV (d)
0,9	9,5	17,2	17,2
2,45	22,3	38,3	38,3
4,4	5,1	6,2	6,2
6,7	0,4	1,1	1,1
SUM	37,2	62,8	62,8

Prosess/hotceller

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Pauseareal SV (d)	P-plass VNV (d)	Sykkelparkering NV (d)
0,9	3,3	9,5	17,2
2,45	4,4	22,3	38,3
4,4	1,5	5,1	6,2
6,7	0,0	0,4	1,1
SUM	9,1	37,2	62,8

Lab'er

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Pauseareal S (d)	P-plass VSV (d)	Sykkelparkering VNV (d)
0,9	5,1	3,7	9,5
2,45	10,2	2,2	22,3
4,4	3,7	0,4	5,1
6,7	0,4	0,0	0,4
SUM	19,345	6,205	37,23

Antall sekunder det tar fra luftmassene forlater et utslippspunkt og til det når en av lokasjonene, varier med vindhastighet og avstand til lokasjon som vist i tabell 6.

Tabell 6: Antall sekunder det tar før luftmassene når en lokasjon fra hvert utslippspunkt ved en gitt vindstyrke og vindretning.

HVAC

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Pauseareal VNV (s)	P-plass NV (s)	Sykkelparkering NV (s)
0,9	38,9	91,1	111,1
2,45	14,3	33,5	40,8
4,4	8,0	18,6	22,7
6,7	5,2	12,2	14,9

Prosess/hotceller

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Pauseareal SV (s)	P-plass VNV (s)	Sykkelparkering NV (s)
0,9	30,0	52,2	67,8
2,45	11,0	19,2	24,9
4,4	6,1	10,7	13,9
6,7	4,0	7,0	9,1

Lab'er

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Pauseareal S (s)	P-plass VSV (s)	Sykkelparkering VNV (s)
0,9	42,2	37,8	57,8
2,45	15,5	13,9	21,2

4,4	8,6	7,7	11,8
6,7	5,7	5,1	7,8

1.3 Eksponeringsberegninger

1.3.1 Henfall og inngroing

Rn-220 vil henfalle på veien fra utslippspunktene til lokasjonene ettersom den har en halveringstid på bare 56 sekunder. Aktiviteten av Rn-220 reduseres iht likning 1.

$$A_1 = A_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{likning 1})$$

der A_1 er aktiviteten (Bq/m^3) ved lokasjon,
 A_0 er aktiviteten ved utslippstidspunktet fra pipa,
 $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ der $T_{1/2}$ er halveringstiden til Rn-220 på 56 s, og
 t er henfallstid (s) som angitt i tabell 6 for hvert utslippspunkt, lokasjon og vindhastighet.

Rn-220 desintegrer iht likning 1 til stabilt bly via bla. Pb-212. Denne datternukliden bidrar også til inhalasjonsdosen i tillegg til Rn-220. Vi trenger derfor å beregne hvor mye Pb-212 som dannes og er tilgjengelig for inhalasjon på lokasjonene. Til dette benytter vi programmet Micro shield Pro fra Grove software radiation solutions¹. Vi tar utgangspunkt i aktiviteten til Rn-220 ved hvert utslippspunkt (A_0) og det antall sekunder det tar fra pipa til hver lokasjon med gitt vindhastighet (t). Vi antar konservativt at hele luftmassen fra pipa transporteres ufortynnet til lokasjon og at all Pb-212 som dannes på veien når lokasjonen.

1.3.2 Likninger for beregning av eksponering fra inhalasjon

For å beregne eksponering for Rn-220 og Pb-212 for naboansatte på forskjellige lokasjoner, beregnes først antall Bq inhalert per lokasjon iht likning 2 for hver vindhastighet:

$$I_n = d \cdot O \cdot IF \cdot A_1 \quad (\text{likning 2})$$

der I_n er inhalert aktivitet av nuklide n (Bq/y)
 d er antall dager med slik vind (d/y)
 O er oppholdstid på lokasjonen (h/d)
 IF er inhalasjonsfrekvens for en vanlig arbeider (m^3/h) tatt fra ICRP 137²
 A_1 er aktiviteten (Bq/m^3) ved lokasjon

Deretter beregnes inhalasjonsdosen iht likning 3. Dosekonverteringsfaktorene for inhalasjon for både Rn-220 og Pb-212 er vist i tabell 7.

¹ <https://www.radiationsoftware.com/>

² ICRP, 2017. Occupational intakes of radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4).

$$ID = \Sigma (I_{Rn-220} \cdot DCF_{i,Rn-220} + I_{Pb-212} \cdot DCF_{i,Pb-212}) \quad (\text{likning 3})$$

der ID er inhalasjonsdosen (Sv/y)

I_{Rn-220} er inhalert aktivitet av nukliden Rn-220 (Bq/y) beregnet iht likning 2

$DCF_{i,Rn-220}$ er dosekonverteringsfaktoren for inhalasjon av Rn-220 (Sv/Bq) fra ICRP 137², se tabell 7

I_{Pb-212} er inhalert aktivitet av nukliden Pb-212 (Bq/y) beregnet iht likning 2

$DCF_{i,Pb-212}$ er dosekonverteringsfaktoren for inhalasjon av Pb-212 (Sv/Bq) fra ICRP 137², se tabell 7

Tabell 7: Dosekonverteringsfaktorer (DCF_i) for effektiv dose fra inhalasjon hentet fra ICRP Publication 137, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3

Nuklide	DCF_i (Sv/Bq)
Rn-220	1,80E-10
Pb-212	1,70E-07

1.3.3 Beregninger for utslipp fra HVAC

Samlet inhalasjonsdosene for Rn-220 og Pb-212 fra HVAC for de tre lokasjonene er beregnet iht likningene 1-3 for gjeldende vindretninger og vindhastigheter. Resultatene er gitt i tabell 8. De årlige dosene er estimert til hhv. 0,0008, 0,0002 og 0,0002 μ Sv/y for Vianodes pauseareal, Beerenbergs P-plass og Bilfingers sykkelparkering. De svært lave verdiene skyldes den enorme luftstrømmen på HVAC med 20 000 m³/h.

Tabell 8: Samlet inhalasjonsdose for Rn-220 og Pb-212 fra utslipp fra HVAC i Sv/y.

HVAC

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Pauseareal VNV (Sv/y)	P-plass NV (Sv/y)	Sykkel- parkering NV (Sv/y)
0,9	2,16E-10	7,44E-11	7,67E-11
2,45	4,49E-10	1,41E-10	1,47E-10
4,4	9,96E-11	2,16E-11	2,20E-11
6,7	6,95E-12	3,64E-12	3,72E-12
SUM	7,72E-10	2,41E-10	2,49E-10

1.3.4 Beregninger for utslipp fra Prosessventilasjon/hotceller

Samlet inhalasjonsdosene for Rn-220 og Pb-212 fra Prosess/hotceller for de tre lokasjonene er beregnet iht likningene 1-3 for gjeldende vindretninger og

vindhastigheter. Resultatene er gitt i tabell 9. De årlige dosene er estimert til hhv. 1,35, 0,94 og 1,63 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ for Vianodes pauseareal, Beerenbergs P-plass og Bilfingers sykkelparkering.

Tabell 9: Samlet inhalasjonsdose for Rn-220 og Pb-212 fra utslipp fra Prosesuventilasjon/hotceller i Sv/y.

Prosess/hotceller

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Pauseareal SV (d)	P-plass VNV (d)	Sykkel- parkering NV (d)
0,9	5,08E-07	2,58E-07	4,81E-07
2,45	6,35E-07	5,53E-07	9,74E-07
4,4	2,07E-07	1,24E-07	1,52E-07
6,7	0,00E+00	8,67E-09	2,62E-08
SUM	1,35E-06	9,43E-07	1,63E-06

1.3.5 Beregninger for utslipp fra Lab'er

Samlet inhalasjonsdosene for Rn-220 og Pb-212 fra Lab'er for de tre lokasjonene er beregnet iht likningene 1-3 for gjeldende vindretninger og vindhastigheter. Resultatene er gitt i tabell 10. De årlige dosene er estimert til hhv. 0,31, 0,02 og 0,09 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ for Vianodes pauseareal, Beerenbergs P-plass og Bilfingers sykkelparkering.

Tabell 10: Samlet inhalasjonsdose for Rn-220 og Pb-212 fra utslipp fra Lab'er i Sv/y.

Lab'er

Middelvind gjennomsnitt (m/s)	Pauseareal S (Sv/y)	P-plass VSV (Sv/y)	Sykkel- parkering VNV (Sv/y)
0,9	8,63E-08	1,02E-08	2,77E-08
2,45	1,61E-07	5,68E-09	5,02E-08
4,4	5,58E-08	9,24E-10	1,25E-08
6,7	5,51E-09	0,00E+00	9,79E-10
SUM	3,08E-07	1,68E-08	9,14E-08

1.3.6 Total eksponering

Den totale eksponeringen fra vår fabrikk blir hhv. 1,66, 0,96 og 1,72 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ for ansatte i nabobedrifter som benytter pauseareal, p-plass og sykkelparkering, se tabell 11. Dette er helt neglisjerbare doser som ikke utgjør noen helserisiko.

Tabell 11: Totale inhalasjonsdoser for Rn-220 og Pb-212 fra utslipp fra AlphaOne i $\mu\text{Sv}/\text{y}$.

Pauseareal ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)	P-plass ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)	Sykkelparkering ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)
1,66	0,96	1,72

2. Eksponering via sjø for brakkvannsbiota

Frierfjorden er en brakkvannsfjord med variert dyreliv, selv om artsmangfoldet er lavere her enn i Eidangerfjorden (Bergstad og Knutsen, 2004). Aktuelle arter i næringskjeden i fjorden er vist i tabell 2.1

Tabell 2.1: Arter i næringskjeden i Frierfjorden (Bergstad og Knutsen, 2004).

Pelagisk fisk	Sild, brisling, sjøørret
Bunnfisk	Skrubbe, torsk
Skalldyr	Taskekrabbe, strandkrabbe, reker, eremittkreps
Skjell	Blåskjell
Pattedyr	Sel, oter
Andre arter	Børstemark, fytoplankton, zooplankton

Modellverktøyet ERICA Tool (versjon 2.0.230) ble benyttet for beregninger av eksponering av biota fra vårt estimerte utslipp. Vi antok at 0,27 Bq/s av hhv Ra-228, Th-232 og Th-228 gikk ut via avløpsrøret til Frierfjorden, jevnt gjennom hele året. Vi utførte en Tier 2 vurdering i ERICA Tool for 8 referanseorganismer i brakkvann. Vi satte 10 m som avstand fra utløp til reseptor. Resultatene er gitt i tabell 2.2. For alle organismer var doseraten under 10 $\mu\text{Gy}/\text{t}$, med unntak av fytoplankton der den var 152 $\mu\text{Gy}/\text{t}$. Doserater for avstander lengre unna utslippspunktet, vil bli lavere enn dette grunnet den store fortynningen som skjer i Frierfjorens vannmasser.

Dette viser at utslippet ikke vil ha en negativ effekt på biota i brakkvann. Kroniske doserater til vannlevende organismer på $<400 \mu\text{Gy}/\text{t}$ er vurdert til å ikke kunne gi målbare negative effekter på populasjonsnivå ifølge IAEA, UNSCEAR og USDOE.

Tabell 2.2: Eksponeringsberegninger for 8 referanseorganismer 10 m fra utslipp av 0,27 Bq/s av hhv. Ra-228, Th-232 og Th-228.

Art	Doserater ($\mu\text{Gy/t}$)
Pelagisk fisk	0,05
Bunnfisk	3,45
Skalldyr	3,41
Skjell	3,77
Pattedyr	0,05
Børstemark	7,68
Fytoplankton	152
Zooplankton	1,45

3. Eksponering av personer fra sjøvann, sjømat og sedimenter/sand

3.1 Internt eksponering

ERICA Tool gir verdier også for radionuklider i sjøvann og i sjømat fra samme utslippsscenario. Ved inntak, kan allmennheten bli internt eksponert for stråling. Dosekonverteringsfaktorene er imidlertid lave, se tabell 3.1.

Tabell 3.1: Dosekonverteringsfaktorer for de tre radionuklidene (ICRP, 2017)

Radionuklide	Dosekonverteringsfaktor for inntak (Sv/Bq)
Ra-228	3,40E-07
Th-232	7,00E-08
Th-228	3,10E-08

Konsentrasjonen i sjøvann var 0,001 Bq/L for hver av de tre radionuklidene 10 m fra utslippspunktet. Dersom noen bader i nærheten vil de kunne få i seg noe sjøvann via svelging. Det må antas at inntaket er lite siden det er saltvann. Verdens helseorganisasjon har satt en referanseverdi for Ra-228 i drikkevann på 0,1 Bq/L og for thoriumisotopene på 1 Bq/L. De er satt med basis i at et normalt drikkevannskonsum ikke skal gi en stråledose på mer enn 0,1 mSv/år. De lave konsentrasjonene som blir i Frierfjorden fra vårt utslipp, sammenstilt med et lavt volum som faktisk svelges og lave dosekonverteringsfaktorer, tilsier at interne stråledoser fra radionuklider i sjøvann blir neglisjerbare.

For spiselige organismer, viser beregningene i ERICA Tool at det blir <1 Bq/kg av de tre radionuklidene. Stråledoser fra inntak av sjømat blir dermed neglisjerbare, ettersom dosekonverteringsfaktorene er lave og det gjennomsnittlige sjømatinntaket hos nordmenn er ca 18 kg per år ifølge Norsk sjømatråd.

3.2 Ekstern eksponering

Det er vanskelig å anslå hvor mye radioaktivitet som vil samle seg i sedimenter og sand ved badestrender som folk i Porsgrunn bruker. Det er store vannmasser som renner gjennom Frierfjorden hvert år som kan transportere med seg fast materiale og radionuklider. Vi vil derfor ta prøver av sand, sediment og sjøvann på relevante punkter for å kartlegge om vårt utslipp over tid vil øke innholdet av radionuklider i områder som allmennheten bruker. Med analyseresultatene som det gir, kan vi da beregne evt. ekstern eksponering. Vår antakelse er at dette blir neglisjerbart, men det er viktig å ha et miljøovervåkingsprogram for å dokumentere det. Se eget vedlegg til søknaden for mere detaljer:

Beskrivelse av miljøovervåkingsplan.

Referanser

Odd Aksel Bergstad & Jan Atle Knutsen. Fisken og havet, nummer 9 – 2004. Marin makro- og megafauna i Grenlandsfjordene, og næringsvalg til torsk, skrubbe, sjøørret og pelagisk fisk. Havforskningsinstituttet. ISSN 0071-5638.

ICRP, 2017. Occupational intakes of radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4).