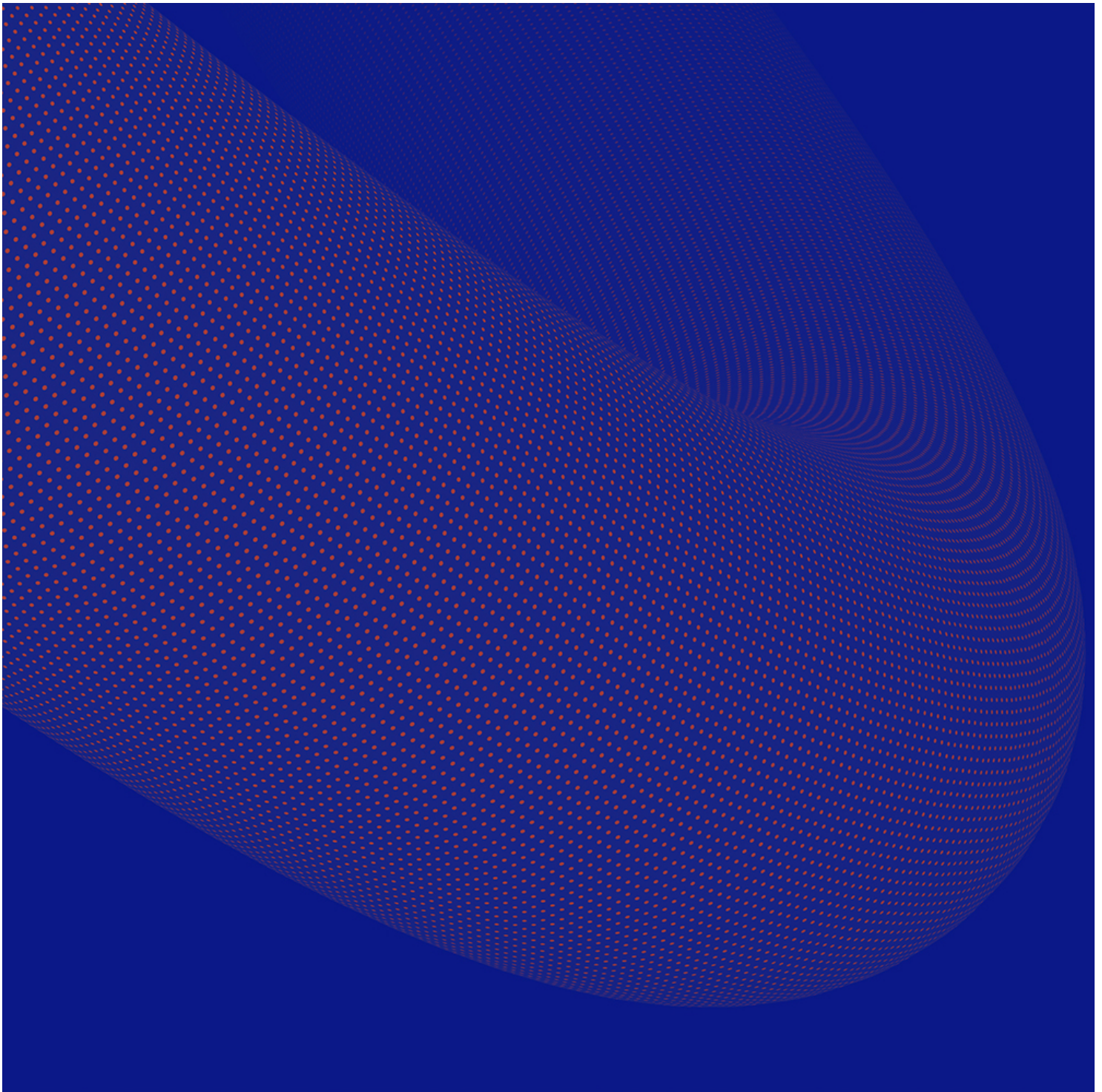




# **Radiologiske konsekvenser for ansatte og befolkning fra utslipp til luft fra Boliden Odda AS**

IFE/F-2023/010 | Cato Christian Szacinski Wendel



# Rapport

<b>Tittel</b>	: <b>Radiologiske konsekvenser til ansatte og befolkning fra utslipp til luft fra Boliden Odda AS</b>		
<b>Utgitt dato</b>	: 3/6/2023	<b>Versjons-/rev.nr.</b>	: 1
<b>DOCUS-ID</b>	: 57734	<b>Oppdragsgiver</b>	: Boliden Odda AS
<b>Forfatter</b>	: Cato Christian Szacinski Wendel	<b>Klassifisering</b>	: Sensitiv
<b>Godkjenner av innhold</b>	: Marie Bourdeaux-Goget, Arnhild Ruud	<b>Autoriserer</b>	: Ingrid Helen Hauge
<b>Sammendrag</b>			
<p>Boliden Odda AS produserer metallisk sink, sinklegeringer og svovelsyre på Eittheimsneset i Odda. Driften av anlegget fører til utslipp av radioaktive stoffer til omgivelsene. Virksomheten søker om tillatelse til utslipp av spesifiserte radionuklider etter forurensningsloven.</p> <p>Beregning av doser til befolkning viser at ved utslipp av maksimal tillatt aktivitet til luft vil medføre en dose på 7,5 <math>\mu\text{Sv}/\text{år}</math> til representativ person.</p> <p>Doser til ansatte på anlegget og befolkning i nærliggende områder er beregnet til å være svært lave.</p>			

## Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Informasjon om virksomheten</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Beregning av doser til befolkning fra utslipp til luft</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Spredningsmodell</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2</b>	<b>Beregning av dose til befolkning</b> .....	<b>5</b>
<b>3.3</b>	<b>Resultat</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Beregning av doser til ansatte fra utslipp til luft</b> .....	<b>8</b>
<b>4.1</b>	<b>Dose fra inhalasjon</b> .....	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Vedlegg</b> .....	<b>12</b>

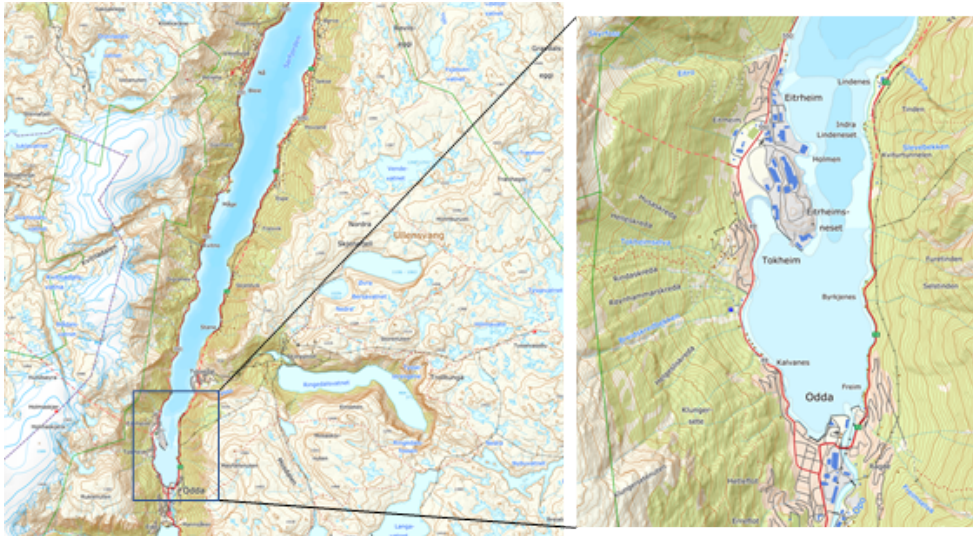
## 1 Innledning

I forbindelse med utvidelse av virksomheten vil Boliden Odde AS søke om utslippstillatelse for radioaktive stoffer i uran og thorium-kjedene. Dette dokumentet beskriver en vurdering av radiologiske konsekvenser av omsøkt utslippsmengde for arbeidstakere og publikum. Beregningene er blitt utført med programmet PC CREAM [1].

## 2 Informasjon om virksomheten

Boliden Odda AS produserer metallisk sink, sinklegeringer og svovelsyre på Eitrheimsneset i Odda. Råvarene som brukes i produksjonen inneholder naturlig radioaktivitet. Radioaktiviteten oppkonsentreres i noen av produktstrømmene gjennom de fysiske og kjemiske prosessene i produksjonen, og drift av anlegget fører til utslipp av radioaktive stoffer. I forbindelse med utvidelser i produksjonen søker Boliden AS om tillatelse til økt utslipp av radioaktive stoffer i uran og thoriumkjedene.

Boliden Odda AS ligger på Eitrheimsneset innerst i Sørfjorden i Hardanger, se figur 1. Nærmeste befolkningssentre er Eitrheim (0,4 til 1 km nord for Boliden AS), Tokheim (0,5 til 1 km syd for Boliden AS), og Odda (~3 km syd for Boliden AS). Fremherskende vindretning i Sørfjorden er sørøstlig, og utslipp fra Boliden føres derfor i hovedsak nordover i fjorden [3].



Figur 1. Kart over Sørfjorden med Eitrheimsneset i utsnitt til høyre ©Kartverket.



### 3 Beregning av doser til befolkning fra utlipp til luft

I forskrift om strålevern og bruk av stråling (strålevernforskriften) settes følgende begrensning for eksponering av ikke-eksponerte arbeidstakere og allmenheten:

*«Virksomheten skal planlegge strålingen og skjermingstiltakene slik at ikke-yrkeseksponerte arbeidstakere og allmenhet ikke eksponeres for en effektiv dose som overstiger 0,25 mSv/år.»*

#### 3.1 Spredningsmodell

Etter et utlipp til atmosfæren vil radionuklidene spres med vinden avhengig av værforholdene. Den mest brukte modellen for å beregne dispersjon er den semi-empiriske Gaussiske spredningsmodellen [2][2]. Modellen er relativt enkel å bruke og relaterer seg til kjente størrelser som vindhastighet og skydekke, men ikke topografi. I en Gaussisk spredningsmodell kan konsentrasjonen i luft av en radionuklide med tilstrekkelig lang halveringstid beskrives som:

$$X(x,y,z) = \frac{Q_0}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot \exp\left(-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z-h_e)^2}{\sigma_z^2}\right)\right)$$

hvor:

$X(x,y,z)$ :	aktivitetskonsentrasjonen i punktet $(x,y,z)$ i Bq/m <sup>3</sup> .
$x$ :	avstanden i vindretningen (m)
$y$ :	avstanden vinkelrett på vindretningen målt fra senterlinjen i skyen (m)
$z$ :	høyden over bakken hvor konsentrasjonen beregnes (m)
$\sigma_y$ :	den horisontale dispersjonskoeffisienten
$\sigma_z$ :	den vertikale dispersjonskoeffisienten
$Q_0$ :	utslippsraten (Bq/s)
$u$ :	midlere vindhastighet (m/s)
$h_e$ :	effektiv utslippshøyde

Modellen forutsetter en stabil situasjon uten endringer i vindretning og er dermed bare egnet for kortvarige utlipp. For normalutlipp, altså et kontinuerlig utlipp over en lengre tidsperiode, vil det ikke lengre være en gaussisk fordeling av konsentrasjonen i horisontalretningen. I stedet deles området rundt utslippspunktet i sektorer, hvor det antas konstant konsentrasjon i hver sektor.

Aktivitetskonsentrasjonen  $X_{ij}(r,z)$  i sektor  $i$  med meteorologiske forhold  $j$  kan da uttrykkes som:

$$X_{ij}(r,z) = \frac{Q_0}{\sqrt{2\pi r \alpha \sigma_z u_j}} \cdot e^{-\left[\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right]}$$

der  $r$  er med vinddistanse i meter og  $\alpha$  er sektorvinkelen i radianer.

Den gjennomsnittlige aktivitetskonsentrasjonen i hver sektor kan estimeres ved å summere over de forskjellige meteorologiske forholdene (atmosfærisk stabilitet):

$$X_i(r,z) = \sum_j f_{ij} X_{ij}(r,z)$$

Hvor

$F_{ij}$  : frekvensen av vindretning inn i sektor  $i$  med atmosfærisk stabilitetskategori  $j$

Den vertikale spredningen av radionuklider i luften vil begrense seg i atmosfæren i det som kalles blandingslaget. Den øvre grensen på blandingslaget er avhengig av meteorologiske forhold og temperatur. Disse meteorologiske forholdene er kategorisert i grupper og kalles atmosfæriske stabilitetskategorier. I denne beregningen er det benyttet Pasquills atmosfæriske stabilitetsklasser, A, B, C, D, E og F, hvor A er minst stabile og mest turbulente og klasse F er mest stabil. I beregning av dose til befolkning fra utslipp fra Boliden Odda AS er det benyttet en fordeling med 50 % i klasse D med 10 % nedbør i C og D.

Den horisontale forflytningen av radionuklider skjer i hovedsak langs vindretningen hvor diffusjon på tvers av vindretningen beskrives med en gaussisk fordelingsfunksjon. Dette forutsetter stabile atmosfæriske forhold uten svingninger i vindretningen i løpet av utslippet. Ved beregning av utslipp over lengre perioder vil denne antagelsen ikke gjelde. Dette løses ved å dele området rundt anlegget inn i sektorer hvor aktivitetskonsentrasjonen i hver sektor beregnes ved å benytte en modifisert versjon av skymodellen. Aktivitetskonsentrasjonen er konstant i horisontal retning innen hver sektor og avhengig av frekvensen av vindretninger i sektoren. Vindretningen i Oddaområdet er hovedsakelig sør-østlig og sekundært nordlig, i samsvar med hoveddalens (Sørfjordens) orientering [3].

Utslippshøyden er her satt til bakkenivå (0 m) for befolkning utenfor Bolidens område siden PC-Cream ikke inkluderer topografi i beregningene. Det er bemerket i [4] at det kan forekomme nedtrekk bak utslippspunktene og at topografiske forhold kan medføre høyere bakkekonsentrasjoner ved vind fra vest enn beregnet med modelleringsverktøy som ikke tar høyde for dette.

### 3.2 Beregning av dose til befolkning

Mennesker eksponeres for radionuklider i luft på en rekke måter. Følgende eksponeringsveier ble tatt hensyn til i beregningene:

- Inhalasjon fra luft og resuspendert materiale
- Gamma og betastråling fra luft
- Gamma og betastråling fra bakken
- Stråling fra resuspendert materiale

De overnevnte eksponeringsveiene er modellert i PC-CREAM 08 fra delprogrammene PLUME (inhalasjon av radionuklider i luften, gamma og beta stråling fra luften, betastråling fra avsatt materiale på bakken), GRANIS (gammastråling fra avsatt materiale på bakken) og RESUS (stråling fra resuspendert materiale). Atmosfærisk individuell dose er beregnet i ASSESSOR fra modellgrunnlaget i delprogrammene.

For befolkningen i nærheten av Boliden Odda AS er representativ person satt til en person som bor i 400 meters avstand fra utslippspunktet. I denne avstanden fra bedriften området er det boligfelt og barnehage. Dose fra intern bestråling gjennom inhalasjon er aldersbetinget, hvor barn er mer følsomme for stråling enn voksen. I tillegg vil den effektive dosen være avhengig av inhalasjonsraten, som er lavere for barn enn for voksen. I dette tilfellet er representativ person er satt som voksen, da denne gir det mest konservative estimatet av dose. Parametere brukt i beregningen er vist i vedlegg 1.

Nuklider som er valgt inkludert i beregningen er nuklidene i uran- og thoriumkjedene. Vi har valgt å beregne dosefaktorer for alle datternuklider av uran og thorium med høyere nivå for Ra-isotoper,  $^{210}\text{Pb}$  og  $^{210}\text{Po}$ .

### 3.3 Resultat

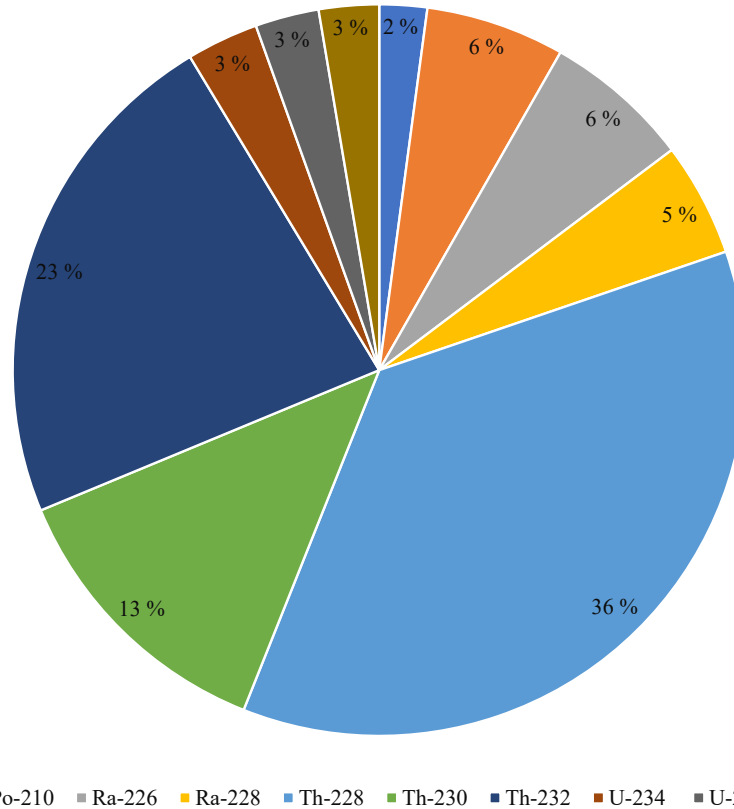
Tabell 1 viser beregnede stråledoser til representativ person i Eitrheim ca. 400 m fra utslippet.

Tabell 1 Beregnet dosefaktor for representativ person (voksen)

Nuklide	Dosefaktor ( $\mu\text{Sv}/\text{år}$ per $\text{Bq}/\text{år}$ )	Utslippsgrense ( $\text{Bq}/\text{år}$ )	Dose ved utslipp ( $\mu\text{Sv}/\text{år}$ )
$^{210}\text{Pb}$	$7,86 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^8$	0,16
$^{210}\text{Po}$	$2,29 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^8$	0,46
$^{226}\text{Ra}$	$2,42 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^8$	0,48
$^{228}\text{Ra}$	$1,88 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^8$	0,38
$^{228}\text{Th}$	$2,71 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^8$	2,71
$^{230}\text{Th}$	$9,49 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^8$	0,95
$^{232}\text{Th}$	$1,69 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^8$	1,69
$^{234}\text{U}$	$2,37 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^8$	0,24
$^{235}\text{U}$	$2,10 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^8$	0,21
$^{238}\text{U}$	$1,98 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^8$	0,20
sum			7,47*

\* Doser fra datternuklider som ikke er oppgitt i tabellen er inkludert i summeringen.

Bidrag i dose i % per tillatt mengde utslipp i Bq for enkelt nuklider er illustrert i figur 2.



Figur 2 Dosebidrag i % for hver enkelt nuklide for omsøkt utslipp.

Ved utslipp av aktiviteter til alle nuklidene på omsøkt utslippsgrense tilsvarer dette en total dose på 7,5  $\mu\text{Sv}/\text{år}$  for representativ person. Tilsvarende beregninger er utført for barn og spebarn, som gir en totaldose på henholdsvis 6,5  $\mu\text{Sv}/\text{år}$  og 4,9  $\mu\text{Sv}/\text{år}$ . Den dominerende eksponeringsveien er inhalasjon fra luft og utgjør ca. 98 % av totaldosen.

Tilsvarende beregninger er gjort for befolkningen i de omkringliggende tettstedene Tokheim og byen Odda. For representativ person i Tokheim og Odda (voksen person) gir dette en effektiv dose på henholdsvis 1,56  $\mu\text{Sv}/\text{år}$  og 0,25  $\mu\text{Sv}/\text{år}$ .

Totaldosene ved utslipp av radionuklider på omsøkt utslippstillatelse er under 35 % av målsatt grense i strålevernforskriften (se kapittel 3). Omsøkt utslippstillatelse er basert på målinger som for mange tilfeller ligger under deteksjonsgrensene for metodene som er brukt. Det er også lagt til en sikkerhetsmargin. Reelt utslipp, og total dose vil derfor ligge godt under disse tallene.



## 4 Beregning av doser til ansatte fra utslipp til luft

En ytterligere mulig eksponering fra utslipp til ansatte (i tillegg til de 7,5  $\mu\text{Sv}/\text{år}$  for representativ person) er utvendig arbeid på anleggsområdet. Området er på bakkenivå over distanser på flere hundre meter. Inhalasjon av luft er den dominerende eksponeringsveien og kun denne vurderes i dette tilfellet. Aktivitetskonsentrasjonen i luften på området er beregnet vha. PC CREAM med utgangspunkt i omsøkte grenser utslipp til luft. Utslippshøyden er satt til 25 meter siden avstandene innenfor industriområdet anses å være for små til at topografieffektene nevnt i kapittel 3.1 får effekt. Pasquills stabilitetsklasser ble brukt med 50 % i kategori D og 10 % regn i C, og det er benyttet lokale vinddata for området, som indikerer at dominerende vindretning (ca. 50 %) går fra utslippspunktet og over industriområdet samt Eitheim. Området med høyest beregnet aktivitetskonsentrasjon og innenfor dominerende sektor med tanke på vindretning er innenfor 100 meter fra utslippspunktet. I beregningene er det antatt 500 timers utendørs arbeid per år, som vurderes som et konservativt anslag med tanke på reelle arbeidsoppgaver.

### 4.1 Dose fra inhalasjon

Inntak fra inhalasjon beregnes ut fra aktivitetskonsentrasjonen i luft med standard verdier for inhalasjonsrate. Ervervet dose er beregnet med aldersavhengige dosekoeffisienter for inntak til respiratorisk trakt [5].

Ervervet effektiv dose, CED, kan dermed beregnes ved formelen:

$$CED_i = C_i \cdot v_i \cdot e_i(\tau)$$

hvor  $CED_i$  er effektiv ervervet dose for aldersgruppe i angitt i Sv  
 $C_i$  er konsentrasjon luft i  $\text{Bq}/\text{m}^3$   
 $v_i$  er inhalasjonsraten for aldersgruppe i  $\text{m}^3/\text{år}$   
 $e_i(\tau)$  er dosekoeffisienten i Sv/Bq.

Inhalert luftvolum per tidsenhet har stor betydning for resulterende stråledoser. I beregninger av stråledose til arbeidere er det tatt utgangspunkt i ICRPs anbefalinger [6], og det er benyttet en inhalasjonsrate på 1.68  $\text{m}^3/\text{time}$  for tungt arbeid. Det benyttes en utendørs arbeidstid på 500 timer per år, se kapittel 4. En annen faktor som har en vesentlig betydning for stråledose, er hvor raskt materialet absorberes til blodet fra respiratorisk trakt. Ulike kjemiske forbindelser deles inn i 3 klasser; type F materiale absorberes raskt – type M middels raskt og type S langsomt. Det er benyttet type M for alle nuklider med unntak av  $^{210}\text{Pb}$  hvor det er benyttet F.

En forutsetning i modellen er at typisk partikkelstørrelse er gitt. Partikkelstørrelse beskrives ved begrepet AMAD, «Activity Median Aerodynamic Diameter». Dette innebærer at 50 % av aktiviteten i aerosolet assosieres med partikler som har en aerodynamisk diameter større enn AMAD. Det er ikke utført målinger av faktisk partikkelstørrelse hos Boliden og det er benyttet standardverdien på 5  $\mu\text{m}$  i beregningene.

Beregnet effektiv dose per år for arbeidstakere på Bolidens område er gitt i Tabell 2

Tabell 2 Effektiv dose per år for arbeidstaker ved utendørs arbeid på Bolidens område ved utslippshøyde 25 m.

Nuklide	Aktivitetskonsentrasjon for maksimal tillatte utlipp (Bq/m <sup>3</sup> )	Dosefaktor $e_{inh}(50)$ (Sv/Bq)	Dose ( $\mu$ Sv/år)
Pb-210	$6,41 \cdot 10^{-6}$	$1,10 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$
Po-210	$6,41 \cdot 10^{-6}$	$2,20 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Ra-226	$6,41 \cdot 10^{-6}$	$2,20 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Ra-228	$6,41 \cdot 10^{-6}$	$1,70 \cdot 10^{-6}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$
Th-228	$3,21 \cdot 10^{-6}$	$2,20 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-2}$
Th-230	$3,21 \cdot 10^{-6}$	$2,80 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$
Th-232	$3,21 \cdot 10^{-6}$	$2,90 \cdot 10^{-6}$	$7,8 \cdot 10^{-3}$
Th-234	$3,21 \cdot 10^{-6}$	$5,30 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$
U-234	$3,21 \cdot 10^{-6}$	$2,10 \cdot 10^{-6}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$
U-238	$3,21 \cdot 10^{-6}$	$1,60 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$
Sum			0,45

Resulterende dose til arbeider pga. utslipp til luft er estimert til 0,45  $\mu$ Sv/år.

## 5 Konklusjon

Utslipp til omgivelsene fra Bolidens anlegg i Eitrheim medfører doser til publikum og ansatte av begrenset størrelse. Størst bidrag gir utslipp til luft der dose til individ i mest utsatt gruppe kan nå 7,5  $\mu\text{Sv}$  per år og doser til ansatte er estimert til 0,45  $\mu\text{Sv}/\text{år}$ . Dosene er lav sammenlignet med grenseverdien fra strålevernforskriften for eksponering av publikum på 250  $\mu\text{Sv}$  per kalenderår.

## 6 Referanser

- [1] PC-CREAM, Radiological Impact Assessment Software, 2009, <https://www.phe-protectionservices.org.uk/pccream/>
- [2] Simmons J.R., Lawson G., Mayall A., Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment, European Commission, EUR 15760 EN, ISSN 1018-5593, 1995
- [3] I. Haugsbakk, Måling av meteorologi og luftkvalitet omkring Outokumpu Norzink AS og Tinfos Titan & Iron KS i Odda (NILU OR 83/2003) Kjeller: NILU.
- [4] T. Weydahl og T. Svendby, Utslipp til luft fra Boliden Odda AS, (NILU rapport 01/2022), Kjeller: NILU.
- [5] ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41 (Suppl.)
- [6] ICRP, 2002. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32 (3-4)

## 7 Vedlegg

### Vedlegg 1 – Parametere benyttet i beregninger med PC cream

Parameter	Verdi																		
PC CREAM 08	1.5.1.79																		
Databaseversjon	2.0.0																		
Modeller	PLUME, GRANIS, RESUS																		
Nuklider	<sup>210</sup> Po, <sup>210</sup> Pb, <sup>226</sup> Ra, <sup>228</sup> Ra, <sup>228</sup> Th, <sup>230</sup> Th, <sup>232</sup> Th, <sup>234</sup> U, <sup>235</sup> U, <sup>238</sup> U																		
Aktivitet	<table> <tbody> <tr> <td><sup>238</sup>U</td> <td>0,1 GBq / år</td> </tr> <tr> <td><sup>235</sup>U</td> <td>0,1 GBq / år</td> </tr> <tr> <td><sup>234</sup>U</td> <td>0,1 GBq / år</td> </tr> <tr> <td><sup>232</sup>Th</td> <td>0,1 GBq / år</td> </tr> <tr> <td><sup>230</sup>Th</td> <td>0,1 GBq / år</td> </tr> <tr> <td><sup>228</sup>Th</td> <td>0,1 GBq / år</td> </tr> <tr> <td><sup>228</sup>Ra</td> <td>0,2 GBq / år</td> </tr> <tr> <td><sup>226</sup>Ra</td> <td>0,2 GBq / år</td> </tr> <tr> <td><sup>210</sup>Pb</td> <td>0,2 GBq / år</td> </tr> </tbody> </table>	<sup>238</sup> U	0,1 GBq / år	<sup>235</sup> U	0,1 GBq / år	<sup>234</sup> U	0,1 GBq / år	<sup>232</sup> Th	0,1 GBq / år	<sup>230</sup> Th	0,1 GBq / år	<sup>228</sup> Th	0,1 GBq / år	<sup>228</sup> Ra	0,2 GBq / år	<sup>226</sup> Ra	0,2 GBq / år	<sup>210</sup> Pb	0,2 GBq / år
<sup>238</sup> U	0,1 GBq / år																		
<sup>235</sup> U	0,1 GBq / år																		
<sup>234</sup> U	0,1 GBq / år																		
<sup>232</sup> Th	0,1 GBq / år																		
<sup>230</sup> Th	0,1 GBq / år																		
<sup>228</sup> Th	0,1 GBq / år																		
<sup>228</sup> Ra	0,2 GBq / år																		
<sup>226</sup> Ra	0,2 GBq / år																		
<sup>210</sup> Pb	0,2 GBq / år																		
Utslipphøyde	0 m for dose til befolkning, 25 m for dose til ansatte																		

Avstand til reseptor	Representativ person Tokheim, Eitrheim: ~400 m Odda: 2 500 m Tyssedal: 3000 m
Inhalasjonsrate	Spedbarn: $1,9 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{år}$ Barn: $5,6 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{år}$ Voksen: $8,1 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{år}$
Vindrose	Utarbeidet etter vinddata fra Boliden
Pasquills stabilitetsklasse	50 % i D, 10 % regn i C og D





**Tittel: Radiologiske konsekvenser for ansatte og befolkning fra utslipp til luft fra Boliden  
Odda AS**

**Dokumentklasse:**

**Signaturer:**

Author: Cato Christian Szacinski Wendel 2023-03-10 13:54:45 (UTC+00:00)  
ife.no\Cato.Wendel

Content Approval: Ingrid Helen Hauge 2023-03-13 13:33:29 (UTC+00:00)  
ife.no\ingrid.hauge