

IFE/F-2019/001



Utslipp av radionuklider og
resultater fra
miljøovervåkingen for TiZir
Titanium & Iron AS - Tyssedal
2018

Rapportnummer: IFE/F-2019/001		Tilgjengelighet: Avgrenset	
Dato: 2019-02-28	Revisjon: 1.0	DOCUS ID: 30950	Antall sider: 29
Oppdragsgiver: TiZir Titanium & Iron AS			
Tittel: Utslipp av radionuklider og resultater fra miljøovervåkingen for TiZir Titanium & Iron AS - Tyssedal 2018			
<p>Sammendrag:</p> <p>TiZir Titanium & Iron AS driver et smelteverk i Tyssedal som produserer titandioksid-slagg og jern fra ilmenittmalm. Drift av anlegget fører til utslipp av radioaktive stoffer i større mengder enn unntaksgrensene gitt i <i>Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall</i>.</p> <p>Institutt for energiteknikk (IFE) har blitt forespurt av TiZir om å analysere og beregne utslipp til vann og luft for 2018, samt å analysere prøver fra miljøovervåkingsprogrammet.</p> <p>Beregninger gjort på ferdigstilte analyser viser at det i 2018 ble sluppet ut netto ca. 290 MBq ²¹⁰Po og 290 MBq ²¹⁰Pb til vann. Til luft ble det sluppet ut netto ca. 34 MBq ²¹⁰Po og 48 MBq ²¹⁰Pb.</p> <p>Miljøovervåkingen finner noe forhøyde nivåer av ²¹⁰Pb i blåskjell. Oppkonsentrering av bly i blåskjell er en kjent problemstilling i Sørfjorden fra før, selv om det ikke hittil har vært fokus på det radioaktive blyet. Mattilsynet har hatt kostholdsråd for området siden 1973 med bakgrunn i forurensning av kadmium, bly, kvikksølv og PCB. Disse ble sist vurdert i 2013.</p>			
Utarbeidet av: Paula Nunez, Cato Wendel			
Kontrollert av: Tore Ramsøy		Godkjent av: Elisabeth Strålberg	

Institutt for energiteknikk

Postboks 40, 2027 Kjeller / Postboks 173, 1751 Halden

Tlf.: +47 63 80 60 00/ +47 69 21 22 00

<http://www.ife.no> / firmapost@ife.no

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
2	Analysemetoder	4
2.1	Gammaanalyser	4
2.2	Radiokjemiske analyser	4
2.2.1	Vannprøver	4
2.2.2	Faste prøver	5
2.3	Analyse av biota	5
3	Utslipp til vann	6
3.1	Slamreanseanlegg	7
3.2	SO ₂ -vasker	8
3.3	Beregning av total utslipp til vann	9
3.4	Trendkurver for utslipp til vann	11
4	Utslipp til luft	15
4.1	Analyse av slagge	16
4.2	Analyse av støv til luft	16
4.3	Beregning av totalt utslipp til luft, og diskusjon	18
4.4	Trendkurver for utslipp til luft	19
5	Miljøovervåkningsprogram	21
5.1	Vann	21
5.1.1	Resultat vann	21
5.1.2	Diskusjon vann	22
5.2	Biota	25
5.2.1	Resultat biota	25
5.2.2	Diskusjon biota	25
5.3	Sedimenter	28
6	Konklusjon miljøovervåkningsprogram	28
7	Referanser	29

1 Innledning

TiZir Titanium & Iron AS driver et smelteverk i Tyssedal som produserer titandioksid-slagg og jern fra ilmenittmalm. I malmen som brukes som råvare finnes det naturlig radioaktivitet. Radioaktiviteten oppkonsentreres i noen av produktstrømmene gjennom den kjemiske separasjonen som skjer i prosessen. Drift av anlegget fører derfor til utslipp av radioaktive stoffer i større mengder enn unntaksgrensene gitt i *Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall* [1].

TiZir har en utslippstillatelse [2] for naturlig uran og thorium fra Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet. Denne tar utgangspunkt i at det er radiologisk likevekt i utslippstrømmene. Basert på kartlegging av utslippene i 2014 ble det i 2015 sendt inn en ny revidert søknad om utslippstillatelse. Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) ba om kompletterende beregninger i 2018. Søknaden er derfor ennå ikke ferdigbehandlet. Inntil videre gjelder derfor den opprinnelige utslippstillatelsen.

I følge vilkårene i utslippstillatelsen skal TiZir gjennomføre kontrollmålinger av utslippet og årlig rapportere totale utslipp til luft og vann samt gjennomføre et miljøovervåkingsprogram. Basert på utslippsdata fra 2014, er miljøovervåkingsprogrammet i 2018 konsentrert om ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po og ^{228}Ra . For utslipp er alle langlivete komponenter av de radiologiske kjedene rapportert, dvs. ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{230}Th , ^{234}U , ^{238}U , ^{228}Th , ^{228}Ra , ^{232}Th og ^{235}U .

Institutt for energiteknikk (IFE) har blitt forespurt av TiZir om å analysere og beregne utslipp til vann og luft for 2018, samt å analysere prøver fra miljøovervåkingsprogrammet.

2 Analysemetoder

2.1 Gammaanalyser

Faste prøvetyper med tilstrekkelig tilgjengelig prøvemateriale ble analysert ved gammaanalyse (HPGe) for ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{228}Ra etter homogenisering. For å oppnå radioaktiv likevekt mellom ^{226}Ra , radon og radondøtre (^{214}Pb , ^{214}Bi) ble prøvene vakuumpakket i kalibrerte geometrier og satt til side i 2-3 uker for inngroing til likevekt. Ved radioaktiv likevekt er aktiviteten av $^{214}\text{Pb}/^{214}\text{Bi}$ lik ^{226}Ra , og ^{228}Ac lik ^{228}Ra . Målingene baseres derfor på gammaspektrometrisk analyse av $^{214}\text{Pb}/^{214}\text{Bi}$ og ^{228}Ac . ^{210}Pb ble analysert direkte og det ble tatt hensyn til selvabsorpsjon i prøvene.

Faste prøvetyper der det ikke kunne prøvetas større mengder prøve enn ca. 0,5-1 g ble kun analysert ved gammaanalyse for ^{210}Pb og ^{228}Ra . ^{226}Ra ble analysert ved radiokjemisk separasjon som beskrevet under avsnitt 2.2.1.

Ved gammaanalyser beregner analyseprogrammet deteksjonsgrenser for nuklider som ikke er påvist men som er lagt inn i nuklidebiblioteket programvaren benytter til identifisering av de ulike toppene. Denne grensen er blant annet avhengig av detektorfølsomhet, comptonbakgrunn, prøvemengde og telletid, og den varierer noe fra måling til måling for samme nuklide.

Alle resultater er gitt med en usikkerhet er en utvidet usikkerhet basert på en standard usikkerhet multiplisert med en dekningsfaktor på 2, som gir et dekningsnivå på tilnærmet 95 %.

2.2 Radiokjemiske analyser

2.2.1 Vannprøver

Vannprøvene for utslippskartlegging ble analysert for ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{230}Th , ^{234}U , ^{238}U , ^{228}Th , ^{228}Ra , ^{232}Th og ^{235}U . Prøvene for miljøovervåking ble kun analysert for ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra og ^{228}Ra .

Prøvene ble først surgjort og tilsatt U-, Th- og Po-tracer samt Pb-bærer. Radionuklidene ble så oppkonsentrert ved hjelp av $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -medfelling. Fellingen ble løst opp med HNO_3 . Pb og Po ble separert med Sr-Resin og U og Th ble separert med UTEVA-Resin. Po ble deponert på nikkelplater og aktiviteten bestemt ved alfaspektrometri. Pb ble felt som oksalat og ^{210}Pb -aktiviteten ble bestemt med beta-teller, etter inngroing av ^{210}Bi i minst en 1 måned. U og Th ble felt med CeF_3 og aktiviteten bestemt ved alfaspektrometri.

^{226}Ra ble i et separat prøveuttak separert med Mn-Resin, med etterfølgende sulfatfelling, og aktiviteten ble bestemt ved alfaspektrometri.

Etter aktivitetsbestemmelse av ^{226}Ra , ble målepreparatet med renseparert radium (også inneholdende ^{228}Ra) satt til side for inngroing av datternukliden ^{228}Th . Etter en inngroingstid på 6-10 måneder, ble målepreparatet løst opp og tilsatt utbyttebestemmer før Th ble separert fra andre elementer vha. UTEVA-resin og aktiviteten bestemt vha. alfaspektrometri. Aktiviteten av ^{228}Ra ble deretter bestemt ved inngroings- og henfallskorreksjoner tilbake til hhv. separasjonstidspunkt og prøvetaking.

Ved radiokjemiske analyser er måleusikkerheten avhengig av kjemisk utbytte, aktivitetsnivå, detektorfølsomhet og telletid. Deteksjonsgrenser for de radiokjemiske analysene beregnes ut fra Curries formel [3]. Rapportert usikkerhet er en utvidet usikkerhet basert på en standard usikkerhet multiplisert med en dekningsfaktor på 2, som gir et dekningsnivå på tilnærmet 95 %.

2.2.2 Faste prøver

De faste prøvene for utslippskartlegging ble analysert for ^{210}Po , ^{230}Th , ^{232}Th , ^{234}U , ^{235}U og ^{238}U . Prøveuttaket (400-700 mg) ble tilsatt Po-, U- og Th-tracer, og løst opp under høy temperatur og høyt trykk med HNO_3 , HCl og HF i lukkede trykkbeholdere i mikrobølgeovn. Løsningen ble dampet til tørrhet og løst opp med HNO_3 . U og Th ble separert med UTEVA-Resin. Po ble deponert på nikkelplater og U og Th ble felt med CeF_3 og aktiviteten bestemt ved alfaspektrometri.

Ved radiokjemiske analyser er måleusikkerheten avhengig av kjemisk utbytte, aktivitetsnivå, detektorfølsomhet og telletid. Deteksjonsgrenser for de radiokjemiske analysene beregnes ut fra Curries formel [3]. Rapportert usikkerhet er en utvidet usikkerhet basert på en standard usikkerhet multiplisert med en dekningsfaktor på 2, som gir et dekningsnivå på tilnærmet 95 %.

2.3 Analyse av biota

Biotaprøver ble analysert som en del av miljøovervåkingen. Prøvene ble analysert for ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra og ^{228}Ra .

Prøvene ble tørket til konstant vekt, og deretter malt opp og homogenisert.

^{228}Ra og ^{210}Pb ble analysert ved gammaanalyse av ca. 300 g tørket og homogenisert materiale (tilsvarende 1,5-2,5 kg ferskvekt), med samme metode som beskrevet under avsnitt 2.1 *Gammaanalyser*.

Uttak av prøvene (tilsvarende 2-4 g ferskvekt) ble tilsatt ^{209}Po som utbyttebestemmer og ble oppsluttet under høy temperatur og høyt trykk med HNO_3 og H_2O_2 i lukkede beholdere i mikrobølgeovn. ^{210}Po ble separert som beskrevet i avsnitt 2.2 *Radiokjemiske analyser*.

Prøver for bestemmelse av ^{226}Ra ble forasket etter tørking før et uttak av prøven (tilsvarende ~10 g ferskvekt) ble tilsatt ^{133}Ba som utbyttebestemmer, og løst opp i mikrobølgeovn som beskrevet over. Radium ble renseparert ved bly- og bariumsulfatfelling før aktiviteten av ^{226}Ra ble bestemt vha. alfaspektrometri.

3 Utslipp til vann

TiZir bruker både sjøvann og ferskvann (industrivann) inn i sin prosess. Noe av vannet resirkuleres i prosessen, mens noe går som utslipp til fjorden. De to strømmene som går til utslipp er vann fra slamreanseanlegget (brukt industrivann) og vann fra SO₂-vask (brukt sjøvann), se henholdsvis punkt S18 og punkt S22 i figur 1. For best mulig kartlegging av reelt tilskudd av naturlig forekommende radioaktivitet i utslippsvannet fra TiZir sin industrielle prosess, har både inntaksvann og utslippsvann blitt analysert.

Illustrasjonen inneholder konfidensiell informasjon og er derfor fjernet

Figur 1 Utslipp til luft og vann fra TiZir sin produksjon. Utslippspunkter til luft er merket i rødt med sirkler og til vann med firkanter.

Resultatene er gitt i tabell 1 og tabell 2.

3.1 Slamreanseanlegg

Det ble sluppet ut 8 660 m³ med vann fra slamreanseanlegget hos TiZir i 2018. Resultater fra analyser av vann inn og ut av slamreanseanlegget er gitt i tabell 1.

Tabell 1 Måleresultater for vann inn og ut fra slamreanseanlegg i Bq · L⁻¹.

	Inntak industrivann	Slamreanseanlegg
²¹⁰ Po	0,0036 ± 0,0020	-0,04 ± 0,05 *
²¹⁰ Pb	0,004 ± 0,005	1,43 ± 0,15
²²⁶ Ra	< 0,10	< 0,10
²³⁰ Th	0,00041 ± 0,00018	0,0024 ± 0,0007
²³⁴ U	0,0068 ± 0,0010	0,0018 ± 0,0004
²³⁸ U	0,0051 ± 0,0008	0,0013 ± 0,0004
²²⁸ Th	< 0,0020	0,0180 ± 0,0027
²²⁸ Ra	< 0,12	< 0,08
²³² Th	0,00033 ± 0,00017	0,0030 ± 0,0008
²³⁵ U	0,00040 ± 0,00019	< 0,00015

* Grunnet decay-korrigerering basert på innhold av ²¹⁰Po og ²¹⁰Pb ved måleøyeblikket, blir beregnet spesifikk aktivitet negativ.

3.2 SO₂-vasker

Det ble sluppet ut 8 330 670 m³ med vann fra SO₂-vasker hos TiZir i 2018. Resultater fra analyser av vann inn og ut av SO₂-vasker er gitt i tabell 2.

Tabell 2 Måleresultater for vann inn og ut fra SO₂-vasker i Bq · L⁻¹

	Inntak sjøvann	SO ₂ -vasker
²¹⁰ Po	0,0026 ± 0,0017 *	0,037 ± 0,007
²¹⁰ Pb	< 0,004	0,033 ± 0,009
²²⁶ Ra	< 0, 10	< 0,10
²³⁰ Th	0,00067 ± 0,00027	0,0016 ± 0,0004
²³⁴ U	0,049 ± 0,005	0,052 ± 0,009
²³⁸ U	0,045 ± 0,005	0,046 ± 0,008
²²⁸ Th	< 0,0024	0,0042 ± 0,0006
²²⁸ Ra	< 0,28	< 0,9
²³² Th	0,00019 ± 0,00014	0,00015 ± 0,00010
²³⁵ U	0,0016 ± 0,0004	0,0017 ± 0,0008

* Der ²¹⁰Pb konsentrasjonen er under deteksjonsgrensen tar henfalls- og inngroingskorreksjonen utgangspunkt i to ytterligheter: 1. aktivitetskonsentrasjonen av ²¹⁰Pb i prøven er lik 0, og 2. aktivitetskonsentrasjonen av ²¹⁰Pb i prøven er lik deteksjonsgrensen. Dette blir også brukt for å regne ut usikkerheten for ²¹⁰Po-aktivitetskonsentrasjonen i prøven.

3.3 Beregning av totalt utslipp til vann

TiZir har per i dag en utslippstillatelse på 2 MBq/år for U og 1 MBq/år for Th til vann [2]. Tillatelsen tar utgangspunkt i at det er radioaktiv likevekt mellom ^{238}U og ^{232}Th og deres respektive datternuklider. Gjennomgang i 2014 viste at ikke er radioaktiv likevekt i utslippene til vann eller luft. I 2015 ble det derfor sendt inn en ny revidert søknad om utslippstillatelse. Denne søknaden er ennå ikke ferdigbehandlet.

Utslippsberegninger er basert på volum vann sluppet ut i 2018. Resultatene fra beregningene er gitt i tabell 3.

Følgende forutsetninger gjelder for rapporteringen

- Bruttoutslipp er beregnet uten hensyn til innhold av naturlig radioaktivitet i vann inn i prosessen, mens for netto er aktivitet i vann inn trukket fra aktivitet i vann ut.
- For analyseresultater der aktivitetskonsentrasjonen er angitt som under deteksjonsgrensen er delutslippet satt til null, iht. til anbefalt praksis i Miljødirektoratets veiledning for utslippsrapportering [4].
- I de tilfellene der analyse av inntaksvannet kun ga en deteksjonsgrense, er beregnet netto utslipp ikke trukket fra bakgrunn. Beregnet nettoutsippet blir dermed lik brutto utslipp, hvilket er en konservativ estimering.
- I de tilfellene der utslippsvann har lavere innhold av radioaktivitet enn inntaksvannet blir nettoutsippet negativ. I tidligere rapporter har disse utslipp blitt rapportert som null. Det er her valgt å beholde dem som negative for lettere å kunne trende resultatene. Angitt usikkerhet viser at netto utslipp kan være både større eller mindre enn null.
- Rapportert usikkerhet inkluderer ikke usikkerheten i de angitte vannvolum sluppet ut i 2018. Den reelle usikkerheten i utslippstallene vil derfor være større enn det som angis i beregningene.

Tabell 3 Beregnet utslipp til vann fra TiZir i 2018 i MBq per år.

Vannmengde volum	Slamreanseanlegg 8 660 m ³		SO ₂ -vasker 8 330 670 m ³		Totalt utslipp til vann	
	Brutto utslipp	Netto utslipp	Brutto utslipp	Netto utslipp	Brutto utslipp	Netto utslipp
²¹⁰ Po	-0,3 ± 0,5	-0,4 ± 0,5	310 ± 60	290 ± 60	310 ± 60	290 ± 60
²¹⁰ Pb	12,38 ± 1,30	12,3 ± 1,3	280 ± 80	280 ± 80 †	290 ± 80	290 ± 80
²²⁶ Ra	0	0	0	0	0	0
²³⁰ Th	0,021 ± 0,006	0,017 ± 0,006	13 ± 4	8 ± 4	13 ± 4	8 ± 4
²³⁴ U	0,0156 ± 0,0035	-0,043 ± 0,009	430 ± 80	20 ± 90	430 ± 80	20 ± 90
²³⁸ U	0,0113 ± 0,0035	-0,033 ± 0,008	380 ± 70	10 ± 80	380 ± 70	10 ± 80
²²⁸ Th	0,156 ± 0,023	0,156 ± 0,023 †	35 ± 5	35 ± 5 †	35 ± 5	35 ± 5 †
²²⁸ Ra	0	0	0	0	0	0
²³² Th	0,026 ± 0,007	0,023 ± 0,007	1,2 ± 0,8	-0,3 ± 1,4	1,3 ± 0,8	-0,3 ± 1,4
²³⁵ U	0	0	14 ± 7	1 ± 7	14 ± 7	1 ± 7

† Ved beregning av netto utslipp er det ikke trukket fra bakgrunn, da resultat av inntaksvann kun ga en deteksjonsgrense. Nettoutslippet er dermed konservativt estimert.

3.4 Trendkurver for utslipp til vann

Estimerte netto utslipp til vann har variert en hel del siden TiZir begynte å analysere sitt utslippsvann. Det er ikke enkelt å konkludere hva dette skyldes, da mange ulike faktorer bidrar til å trekke utslippet i både den ene og den andre retningen. For eksempel kan følgende faktorer nevnes:

- Ny teknologi for reduksjon av utslipp (nye filtre installert i 2016) trekker ned det totale utslippet
- Ny råvare fra 2016 med høyere innhold av naturlig radioaktivitet trekker opp det totale utslippet
- Usikkerhet knyttet til selve estimatet av utslippet kan påvirke totalt estimert utslipp i begge retninger.
- For en del av radionuklidene er analyseresultatet av spesifikk aktivitet ofte rundt deteksjonsgrensen, hvilket kan forårsake en stor variasjon fra år til år på beregnet bidrag til total utslipp.
- Utslippet består av faste partikler vasket ut av røykgasser. Utslippsdata fra TiZir viser at konsentrasjonen stabilt bly i vann som slippes ut varierer en hel del i fra uke til uke. Det er ikke urimelig å anta at dette da også gjelder radioaktivt bly, samt trolig også de andre radionuklidene. For å få en mer representativ prøvetaking og et bedre estimat på totalutslippet er det derfor tatt utgangspunkt i resultater fra analyse av prøver samlet inn over en periode på 6 uker. Det kan likevel forekomme at variasjon i spesifikk aktivitet over året slår ut på beregningene og gjør sammenligninger av utslipp fra år til år vanskelige.
- Uregelmessigheter i drift kan påvirke hvor mye av en radionuklide som går som utslipp til luft/vann. Dette kan være variasjoner i driftsparametere; så som vannfordeling i gassvasken, temperatur med mere. Slike hendelser kan slå ut i estimering av utslipp hvis det skjer under prøvetakingsperioden.

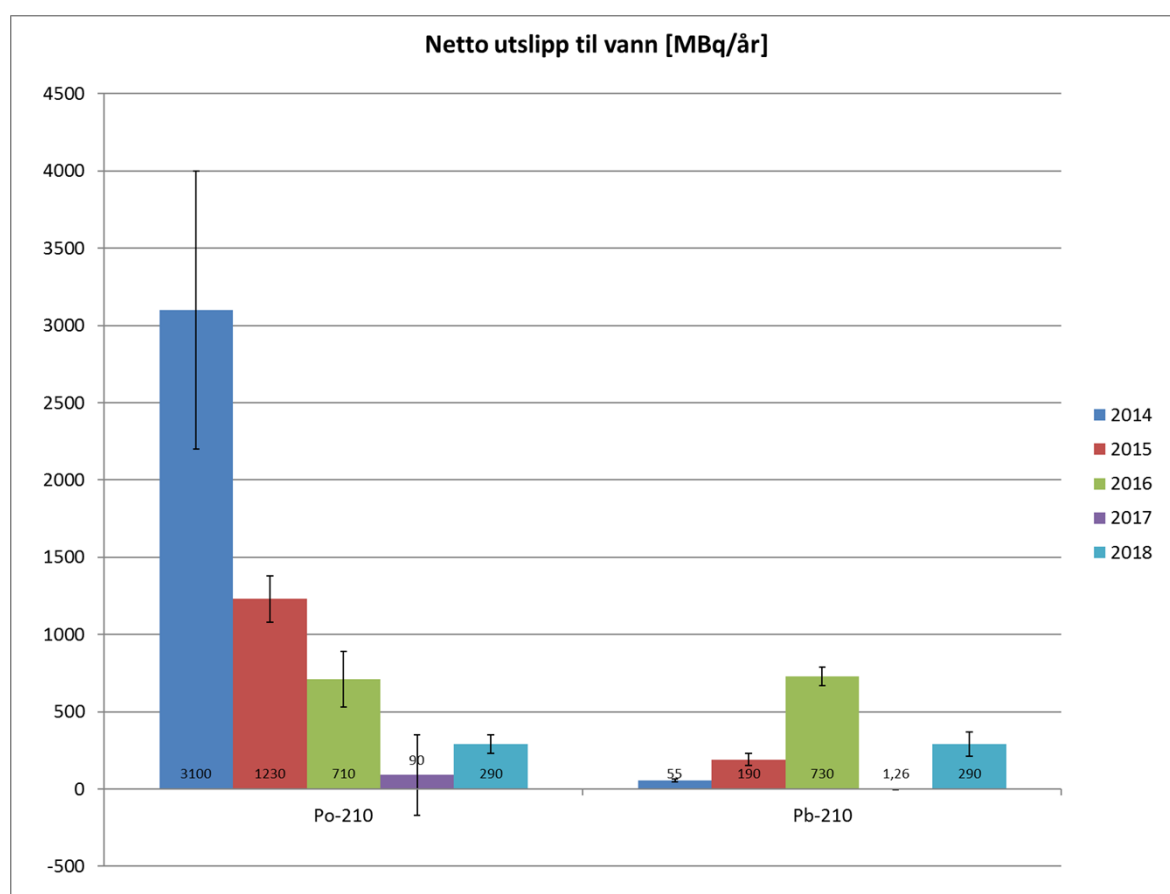
Det er valgt å trende netto utslipp istedenfor brutto, da totalt beregnet utslipp i stor grad beror på størrelsen på volum til utslipp. Brutto utslipp vil dermed ikke vise hvordan mengden radioaktivitet endrer seg over tid basert på den industrielle prosessen og endringer i denne, men i størst grad styres av antall driftstimer. Spesifikk aktivitet i utslippsvann er i størrelsesorden mBq/liter mens volum til utslipp er i 10^9 liter/år. Netto utslipp vil også være avhengig av de samme parameterne, men ved å fjerne bidraget fra vann inn, er dette likevel et bedre mål på hvordan radioaktiviteten som den industrielle prosessen genererer, endrer seg fra år til år.

3.4.1 ^{210}Po og ^{210}Pb

Beregnet utslipp av ^{210}Po og ^{210}Pb til vann fra 2014 til 2018 er presentert i tabell 4 og figur 2. Legg merke til at fra 2017 er usikkerheten i utslippet beregnet på en ny måte, hvilket gjør at den generelt blir større enn ved tidligere beregninger.

Tabell 4 Netto utslipp til vann i MBq [6], [7], [8], [9]

	2014*	2015	2016	2017	2018
^{210}Po	3100 ± 900	1230 ± 150	720 ± 180	90 ± 260	290 ± 60
^{210}Pb	55 ± 10	190 ± 40	730 ± 60	1,26 ± 0,22	290 ± 80



Figur 2 Trending av netto utslipp av ^{210}Pb og ^{210}Po for årene 2014-2018

3.4.2 Uran- og Thorium-isotoper

Beregnet netto utslipp av uran- og thoriumisotoper til vann fra 2014 til 2018 presenteres i tabell 5.

Tabell 5 Netto utslipp til vann i MBq [6], [7], [8], [9]

	2014*	2015	2016	2017	2018
²³⁰ Th	1,3 ± 2,6	ϕ	ϕ	-2 ± 6	8 ± 4
²³⁴ U	-10 ± 140	ϕ	ϕ	-60 ± 100	20 ± 90
²³⁸ U	30 ± 110	ϕ	ϕ	-40 ± 80	10 ± 80
²²⁸ Th	-10 ± 40	ϕ	ϕ	0,028 ± 0,007	35 ± 5 †
²³² Th	0,8 ± 0,6	ϕ	ϕ	2,2 ± 2,4	-0,3 ± 1,4
²³⁵ U	-1 ± 9	ϕ	ϕ	2 ± 9	1 ± 7

* I rapporten for 2014 ble negative utslipp satt til null, her er det endret for sammenlikningens skyld.

ϕ I 2015 og 2016 ble det kun analysert for ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra og ²²⁸Ra.

† Ved beregning av netto utslipp er det ikke trukket fra bakgrunn, da resultat av inntaksvann kun ga en deteksjonsgrense. Nettoutslippet er dermed konservativt estimert.

Netto utslipp av U og Th er jevnt over lave og dermed beheftet med stor usikkerhet.

Brutto utslipp består primært av det naturlige innholdet som finns i vann som brukes i prosessen.

3.4.3 Radium-isotoper

Måling av Ra-isotoper i vann har generelt høyere deteksjonsgrenser enn måling av andre radionuklider i de naturlige kjedene, grunnet høyere blank-konsentrasjoner på laboratoriet. Målte konsentrasjoner i vann inn og ut havner derfor ofte under det som er målbart. Beregning av utslipp er dermed ofte ikke mulig, alternativt beheftet med stor usikkerhet. I henhold til anbefalt praksis i veiledning for utslippsrapportering fra Miljødirektoratet [4] er disse delutslipp satt til null.

Målt spesifikk aktivitet og beregnet netto utslipp av ²²⁶Ra og ²²⁸Ra til vann fra 2014 til 2018 presenteres i tabell 6.

Tabell 6 Målt spesifikk aktivitet av Ra-isotoper samt beregnet utslipp til vann [6], [7], [8], [9]

		²²⁶ Ra			²²⁸ Ra		
		Spes. aktivitet [Bq·L ⁻¹]	Netto [MBq·år ⁻¹]	Brutto [MBq·år ⁻¹]	Spes. aktivitet [Bq·L ⁻¹]	Netto [MBq·år ⁻¹]	Brutto [MBq·år ⁻¹]
2014	Industrivann	< 0,013			0,094 ± 0,014		
	Slamreanseanlegg	0,018 ± 0,008	2,6 ± 1,2 *	2,6 ± 1,2	0,067 ± 0,029	-4 ± 5	10 ± 4
	Sjøvann inn	< 0,013			0,012 ± 0,007		
	SO ₂ -vasker	< 0,013	0	0	≤ 0,022	0	0
2015	Industrivann	< 0,008			< 0,014		
	Slamreanseanlegg	< 0,05	0	0	< 0,17	0	0
	Sjøvann inn	< 0,008			< 0,16		
	SO ₂ -vasker	< 0,008	0	0	< 0,04	0	0
2016	Industrivann	< 0,007			0,07 ± 0,04		
	Slamreanseanlegg	0,020 ± 0,011	1,5 ± 0,8 *	1,5 ± 0,8	< 0,04	0	0
	Sjøvann inn	< 0,0070			0,033 ± 0,013		
	SO ₂ -vasker	0,017 ± 0,012	134 ± 94 *	134 ± 94	< 0,07	0	0
2017	Industrivann	< 0,010			< 0,029		
	Slamreanseanlegg	0,018 ± 0,005	0,18 ± 0,05 *	0,18 ± 0,05	< 0,11	0	0
	Sjøvann inn	< 0,010			< 0,06		
	SO ₂ -vasker	< 0,010	0	0	< 0,06	0	0
2018	Industrivann	< 0,10			< 0,12		
	Slamreanseanlegg	< 0,10	0	0	< 0,08	0	0
	Sjøvann inn	< 0,10			< 0,28		
	SO ₂ -vasker	< 0,10	0	0	< 0,9	0	0

* Utslipet er konservativt estimert med antatt inn-konsentrasjon lik null.

4 Utslipp til luft

Utslipp til luft fra TiZir sin produksjon kommer ut via en rekke forskjellige utslippsveier, se figur 1 og tabell 7.

Tabell 7 Utslippsveier til luft fra TiZir og antagelser om spesifikk aktivitet

	Kg/år	Spesifikk aktivitet	Ref. figur 1
Takventilator 4	1 131	Prøvetatt	L26
Øvrige takventilatorer (nr. 1-3, 5-9)	9 603	Som takventilator 7 - prøvetatt	L22-24, L27, L30-33
Rister sydvegg forreduksjon	297	Som takventilator 7 - prøvetatt	
Div. filter på transportbånd i forreduksjon	1 064	Som takventilator 7 - prøvetatt	
Hovedskorstein forreduksjon	674	Prøvetatt	L28
Venturisystem	122	Prøvetatt	L12-13
Hetteavsug nøddrift SV60	60	Prøvetatt (ovnshusatmosfær)	L14, L17
Tapperøyk/hetteavsug kombinert via filter PF301	694	Prøvetatt (Filter PF301 ovnshus)	
Div. filter transportbånd og siloer i ovnshus	954	Som takventilator 7 - prøvetatt	
Slagg tapping (ferdigvare finstoff)	3 131	Prøvetatt (slag fines)	
Slagg knuseri (ferdigvare finstoff)	2 478	Prøvetatt (slag fines)	

4.1 Analyse av slag

I den industrielle prosessen hos TiZir kommer noe utslipp til luft fra såkalt slaggtapp. Dette er støv fra avdamping av ferdigprodukt under tapping og størkning etter selve ovnen. Det er derfor gjort gamma- og radiokjemisk analyse av to slaggrøver. Se tabell 8.

Da slag-fines viste noe høyre spesifikk aktivitet, er disse verdiene konservativt brukt ved beregningen av utslipp fra slaggtap.

Tabell 8 Måleresultater for titanslag i Bq · g⁻¹.

	85% TiO ₂ -slag X19/18-2	85% TiO ₂ -fines X19/18-3
²¹⁰ Po	< 0,004	0,011 ± 0,018 *
²¹⁰ Pb	< 0,05	< 0,024
²²⁶ Ra	0,12 ± 0,04	0,162 ± 0,024
²³⁰ Th	0,16 ± 0,05	0,15 ± 0,05
²³⁴ U	0,098 ± 0,011	0,129 ± 0,021
²³⁸ U	0,063 ± 0,008	0,085 ± 0,016
²²⁸ Th	0,24 ± 0,07	0,33 ± 0,09
²²⁸ Ra	0,318 ± 0,024	0,46 ± 0,04
²³² Th	0,40 ± 0,11	0,48 ± 0,12
²³⁵ U	0,0031 ± 0,0015	0,0051 ± 0,0029

* Der ²¹⁰Pb konsentrasjonen er under deteksjonsgrensen tar henfalls- og inngroingskorreksjonen utgangspunkt i to ytterligheter: 1. aktivitetskonsentrasjonen av ²¹⁰Pb i prøven er lik 0, og 2. aktivitetskonsentrasjonen av ²¹⁰Pb i prøven er lik deteksjonsgrensen. Dette blir også brukt for å regne ut usikkerheten for ²¹⁰Po-aktivitetskonsentrasjonen i prøven.

4.2 Analyse av støv til luft

Støvprøver ble tatt ved 7 forskjellige punkter som anses representative for de diffuse utslippene til luft fra TiZir.

Prøvetakingen ble utført av Hardanger Miljøseniter. Inne i pipene, hvor det er veldig lite støv tilgjengelig, er prøvetakingen utført ved hjelp av støvsamleutstyr med filter. I venturikanalen er det 80 til 90 % CO gass som både er giftig i tillegg til å være brannfarlig, og det er derfor ikke mulig å prøveta ved bruk av filter. Venturistøv ble derfor filtrert ut fra rens vann og tørket inn. Støv i ovshusatmosfæren ble prøvetatt ved å samle inn støv deponert på konstruksjoner.

Resultatene fra analyse av utslippsprøver til luft er gitt i tabell 9.

Tabell 9 Måleresultater for støv i utslipp til luft i $Bq \cdot g^{-1}$.

	Takventilator 7	Takventilator 4	Hovedpipe forreduksjon	Atmosfære ovnshus X-19/48-4a	Atmosfære ovnshus X-19/48-4b	Venturistøv X19/18-5	Filter PF301 ovnshus
^{210}Po	$0,7 \pm 0,4$	14 ± 5	13 ± 5	$11,9 \pm 1,8$	-	$2,3 \pm 0,5$	$0,2 \pm 0,3$
^{210}Pb	$1,65 \pm 0,13$	$19,0 \pm 1,4$	$8,4 \pm 0,7$	$1,39 \pm 0,12$	$3,45 \pm 0,26$	$5,1 \pm 0,4$	$1,07 \pm 0,27$
^{226}Ra	$0,036 \pm 0,009$	$0,080 \pm 0,024$	$0,025 \pm 0,006$	$0,091 \pm 0,029$	$0,10 \pm 0,04$	$0,125 \pm 0,026$	$0,119 \pm 0,020$
^{230}Th	$0,044 \pm 0,009$	$0,050 \pm 0,009$	$0,013 \pm 0,003$	$0,095 \pm 0,026$	$0,069 \pm 0,016$	$0,037 \pm 0,0080$	$0,097 \pm 0,015$
^{234}U	$0,036 \pm 0,008$	$0,037 \pm 0,005$	$0,0067 \pm 0,0024$	$0,067 \pm 0,008$	$0,079 \pm 0,006$	$0,103 \pm 0,021$	$0,054 \pm 0,007$
^{238}U	$0,026 \pm 0,006$	$0,022 \pm 0,004$	$0,0067 \pm 0,0024$	$0,048 \pm 0,006$	$0,061 \pm 0,005$	$0,073 \pm 0,017$	$0,040 \pm 0,006$
^{228}Th	$0,101 \pm 0,015$	$0,122 \pm 0,016$	$< 0,013$	$0,114 \pm 0,026$	$< 0,05$	$0,147 \pm 0,009$	$0,191 \pm 0,025$
^{228}Ra	$0,121 \pm 0,023$	$< 0,07$	$< 0,04$	$0,212 \pm 0,021$	$0,253 \pm 0,028$	$0,277 \pm 0,020$	$< 0,14$
^{232}Th	$0,124 \pm 0,020$	$0,132 \pm 0,019$	$0,0064 \pm 0,0020$	$0,22 \pm 0,05$	$0,149 \pm 0,029$	$0,087 \pm 0,0140$	$0,188 \pm 0,026$
^{235}U	$< 0,0024$	$< 0,0015$	$< 0,0011$	$0,0027 \pm 0,0013$	$0,0025 \pm 0,0007$	$< 0,006$	$0,0012 \pm 0,0009$

- Analysen var mislykket. Ingen resultat tilgjengelig.

4.3 Beregning av totalt utslipp til luft, og diskusjon

TiZir har per i dag en utslippstillatelse på 2,5 MBq/år for U og 2,5 MBq/år Th luft [2]. Tillatelsen tar utgangspunkt i at det er radioaktiv likevekt mellom ^{238}U og ^{232}Th og deres respektive datternuklider. Gjennomgang i 2014 viste at ikke er radioaktiv likevekt i utslippene til vann eller luft. I 2015 ble det derfor sendt inn en ny revidert søknad om utslippstillatelse. Denne søknaden er ikke ferdigbehandlet.

Følgende forutsetninger gjelder for rapporteringen

- I beregninger av utslipp til luft er spesifikk aktivitet i tabell 8 og 9, samt mengder og antakelser som angitt i tabell 7 lagt til grunn. Resultatene fra beregningene er gitt i tabell 10.
- For analyseresultater der aktivitetskonsentrasjonen er angitt som under deteksjonsgrensen er delutslippet satt til null iht. til anbefalt praksis i veiledning for utslippsrapportering fra Miljødirektoratet [4].

Tabell 10 Beregnet utslipp til luft fra TiZir i 2018 i MBq per år.

	Total utslipp
^{210}Po	34 ± 8
^{210}Pb	$48,4 \pm 2,3$
^{226}Ra	$1,55 \pm 0,15$
^{230}Th	$1,51 \pm 0,23$
^{234}U	$1,25 \pm 0,13$
^{238}U	$0,86 \pm 0,10$
^{228}Th	$3,3 \pm 0,4$
^{228}Ra	$4,1 \pm 0,4$
^{232}Th	$4,5 \pm 0,6$
^{235}U	$0,030 \pm 0,012$

Rapportert usikkerhet inkluderer ikke usikkerheten i de angitte støvmengder sluppet ut i 2018. Den reelle usikkerheten i utslippstallene vil derfor være større enn det som angis i beregningene.

4.4 Trendkurver for utslipp til luft

Estimerte utslipp til luft har variert en hel del siden TiZir begynte å analysere sitt utslipp. Det er ikke enkelt å konkludere hva dette skyldes, da mange ulike faktorer bidrar til å trekke utslippet i både den ene og den andre retningen. For eksempel kan følgende faktorer nevnes:

- Ny teknologi for reduksjon av utslipp (nye filtre installert i 2016) trekker ned totalt utslipp. Dette er spesielt tydelig for ^{210}Po , som i stor grad er målbart i filterstøv fra nytt filter.
- Ny råvare fra 2016 med høyere innhold av naturlig radioaktivitet trekker opp totalt utslipp
- Usikkerhet knyttet til selve estimatet av utslippet kan påvirke total estimert utslipp i begge retninger.
 - Ved beregninger av utslipp av radioaktivitet er det her tatt utgangspunkt i resultat fra én prøve per år, og for noen prøvetyper betyr dette 40 mg prøvemateriale. Det vil si at inhomogenitet i materialet over tid kan slå kraftig ut på resultatene. Utslippsdata for stabilt bly fra TiZir viser at mengden bly i støv som slippes ut varierer en del fra uke til uke. Det er ikke urimelig å anta at dette da også gjelder radioaktivt bly, samt trolig også de andre radionuklidene.
 - Prøvetaking i piper er komplisert, ikke minst på grunn av de små mengdene støv som er tilgjengelig. I noen tilfeller prøvetas det i opptil 6 uker for å få nok prøvemateriale. Nuklider som ^{210}Po , med halveringstid på 120 dager, rekker å delvis henfalle og også gro inn fra mornukliden, før analysen kan starte.
 - Uregelmessigheter i drift kan påvirke hvor mye av en radionuklide som går som utslipp til luft/vann. Dette kan være variasjoner i driftsparametere; så som vannfordeling i gassvasken, temperatur med mere. Slike hendelser kan slå ut i estimering av utslipp hvis det skjer under prøvetakingsperioden.

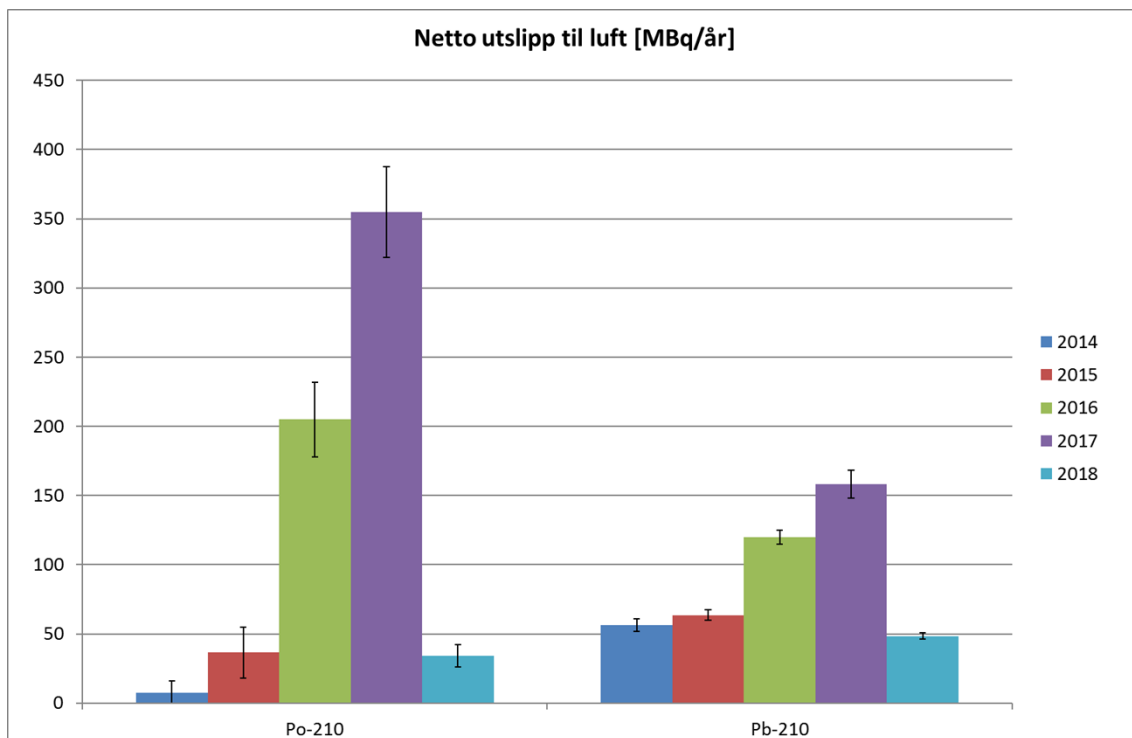
I tabell 11 samt figur 3 og 4 presenteres estimerte utslipp til luft fra TiZir fra 2014 til 2018.

Tabell 11 Utslipp til luft i MBq·år⁻¹ [6], [7], [8], [9]

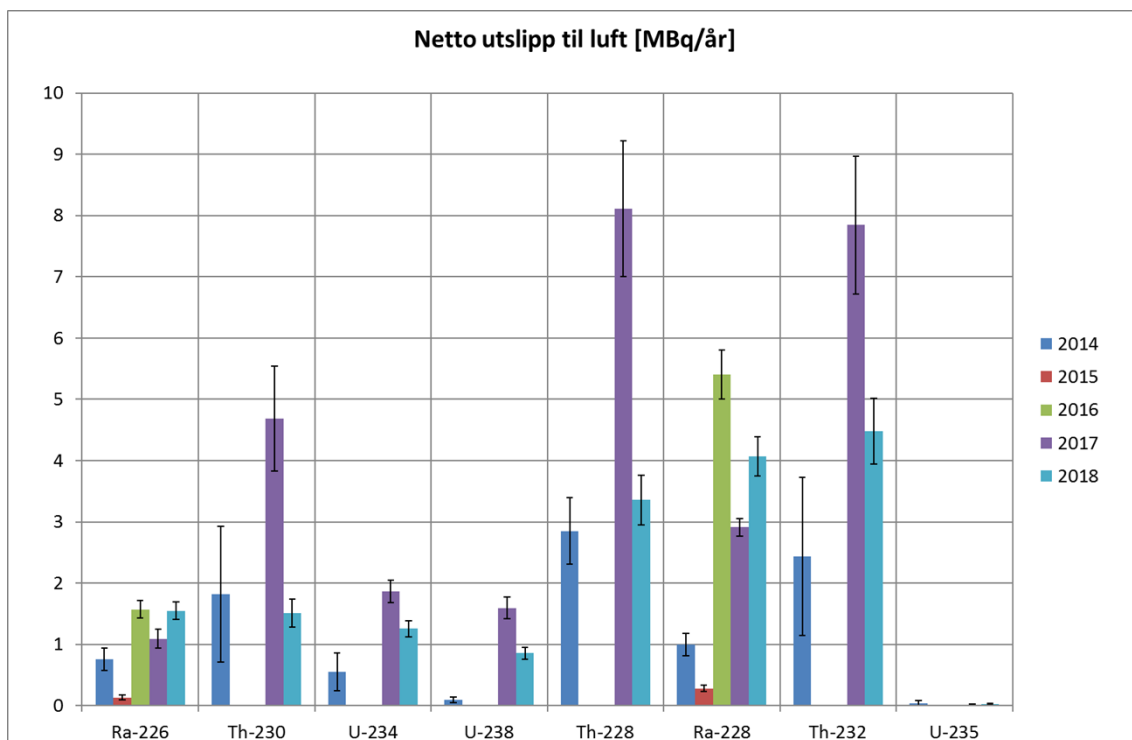
	2014 †	2015	2016	2017	2018
^{210}Po	7 ± 9	37 ± 18	205 ± 27	355 ± 33	34 ± 8
^{210}Pb	56 ± 5	64 ± 4	120 ± 5	158 ± 10	48,4 ± 2,3
^{226}Ra	0,75 ± 0,18	0,13 ± 0,04	1,57 ± 0,14	1,09 ± 0,15	1,55 ± 0,15
^{230}Th	1,8 ± 1,1	*	*	4,7 ± 0,9	1,51 ± 0,23
^{234}U	0,6 ± 0,3	*	*	1,87 ± 0,18	1,25 ± 0,13
^{238}U	0,09 ± 0,05	*	*	1,59 ± 0,18	0,86 ± 0,10
^{228}Th	2,8 ± 0,5	*	*	8,1 ± 1,1	3,4 ± 0,4
^{228}Ra	1,00 ± 0,18	0,28 ± 0,05	5,4 ± 0,4	2,91 ± 0,14	4,1 ± 0,4
^{232}Th	2,4 ± 1,3	*	*	7,8 ± 1,1	4,5 ± 0,6
^{235}U	0,04 ± 0,04	*	*	0,019 ± 0,005	0,030 ± 0,012

* I 2015 og 2016 ble det kun analysert for ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra og ^{228}Ra .

† Resultatene er korrigert for en oppdaget feil i rapporterte utslippstall, grunnet bruk av feil takventilator som representativ prøve for flere delutslipp.



Figur 3 Trending av utslippsdata for årene 2014-2018

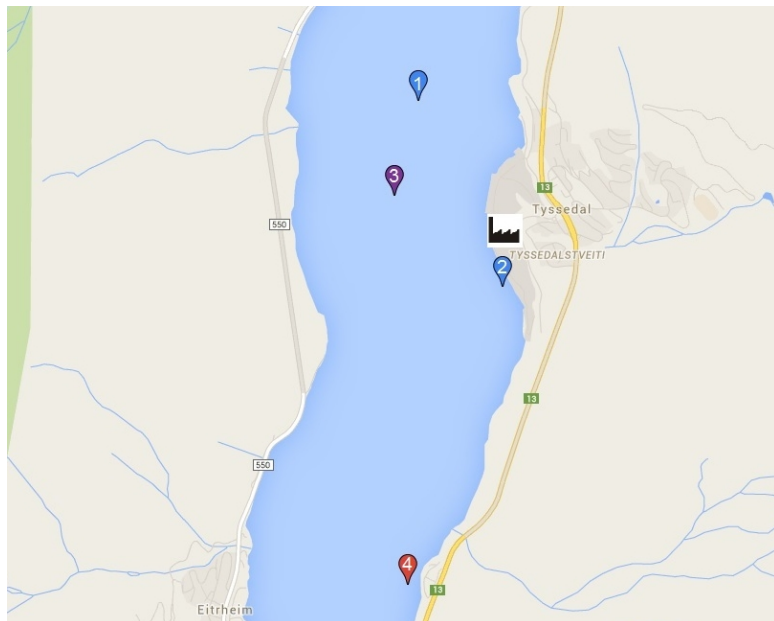


Figur 4 Trending av utslippsdata for årene 2014-2018

5 Miljøovervåkningsprogram

IFE skrev et forslag til miljøovervåkningsprogram på oppdrag fra TiZir i 2014 [4]. Med noen justeringer er dette programmet implementert og resultatene presenteres nedenfor.

Vann og biotaprøvene ble prøvetatt fra lokalitetene vist i figur 4. Vannprøvene ble tatt på 25 m dyp.



Figur 5 Prøvetakingssteder: 1 vann midtfjords, 2 vann utslippspunkt, 3 sedimenter og 4 blåskjell.

Når en ser på utslipp av radioaktivitet, må målte verdier sammenlignes med hva som er vanlig bakgrunnsforekomst av de samme nuklidene. Analyse av utslippene fra TiZir til luft og vann viser at de viktigste komponentene er ^{210}Pb og ^{210}Po . Miljøovervåkningsprogrammet er derfor konsentrert om disse to nuklidene, i tillegg til ^{226}Ra og ^{228}Ra .

5.1 Vann

5.1.1 Resultat vann

Vann fra utslippspunktet ble analysert. Dette blir sammenlignet med vann prøvetatt "midtfjords" samt litteratordata. Resultatene er gitt i tabell 12.

Tabell 12 Måleresultater for vannprøver ($\text{mBq} \cdot \text{L}^{-1}$).

	Midtfjords v/kraftstasjon 2018	Ved utslippspunkt TiZir 2018
^{210}Po	$1,5 \pm 1,9$	$3,0 \pm 1,7$
^{210}Pb	< 4	< 4
^{226}Ra	< 15	< 15
^{228}Ra	< 50	< 80

5.1.2 Diskusjon vann

Havet inneholder naturlig store mengder radioaktivitet. Gjennomsnittsakktivitet (både naturlig og menneskeskapt) for verdens hav er $13,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ vann. Mer enn 88 % av denne aktiviteten skyldes den naturlig forekommende kaliumisotopen ^{40}K . Gjennomsnittlig konsentrasjon av naturlig forekommende radioaktive nuklider er $12,5 \text{ Bq kg}^{-1}$ vann.

Det er gjort mange undersøkelser av forekomst av naturlig radioaktivitet i havvann, men lite data finnes for norske fjorder. Tabell 13 presenterer tilgjengelige litteraturdata.

Tabell 13 Konsentrasjoner av naturlig forekommende radionuklider i Nordsjøen og andre sammenlignbare lokaliteter.

Nuklide	mBq · liter ⁻¹	Lokalitet	Referanse
^{226}Ra	0,07-20	Kystvann, elvemunning, laguner Nord-Amerika	IAEA, 2014 [10]
	$2,83^* \pm 0,67$	The Wash, elvemunning, England	Plater <i>et al.</i> , 1995 [11]
	5,3	30 km ut fra kysten, Nederland	Köster <i>et al.</i> , 1992 [12]
	5,0	Kyst, Nederland	Köster <i>et al.</i> , 1992 [12]
^{210}Pb	$0,72 \pm 0,42$	Ikke oppgitt	Cherry og Heyraud, 1988 [13]
	0,8	30 km ut fra kysten, Nederland	Köster <i>et al.</i> , 1992 [12]
^{210}Po	$0,80 \pm 0,23$	Ikke oppgitt	Cherry og Heyraud, 1988 [13]
	0,7	30 km ut fra kysten, Nederland	Köster <i>et al.</i> , 1992 [12]
	0,5	Kyst, Nederland	Köster <i>et al.</i> , 1992 [12]

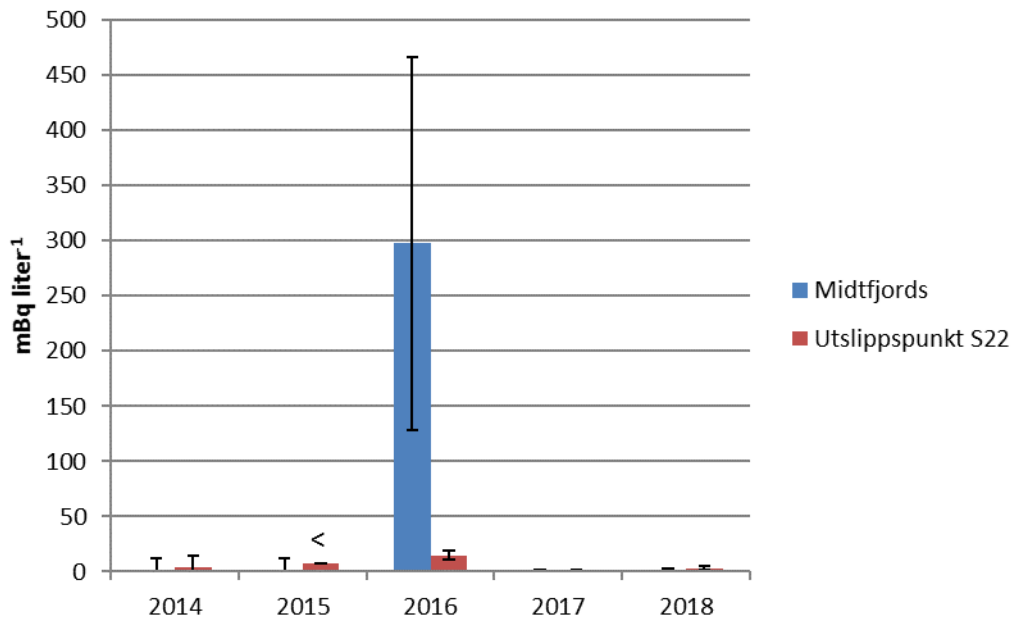
* mBq · kg⁻¹

5.1.2.1 ^{210}Po

Analysen av ^{210}Po i sjøvann midtfjords og ved utslippspunktet viser resultater i samme størrelsesorden i 2018 og er høyere enn litteraturdata som finnes tilgjengelig.

Resultatet kan delvis forklares av det faktum at analysert vann ikke ble filtrert før analysen ble utført. Mange studier der vann analyseres tar utgangspunkt i at vannet først filtreres. For TiZir sitt utslipp er det kjent at utslippet består av partikler som havner i vannet i slamreanlegget og SO₂-vaskeren, og mindre trolig består av naturlig radioaktivitet som er løst opp i utslippsvannet. Derfor er det valgt å analysere miljøprøvene uten filtrering.

Resultatene overensstemmer med det generelle nivået oppmålt siden 2014 som vist i figur 5 [6], [7], [8], [9], med et unntak for verdien oppmålt midtfjords i 2016.



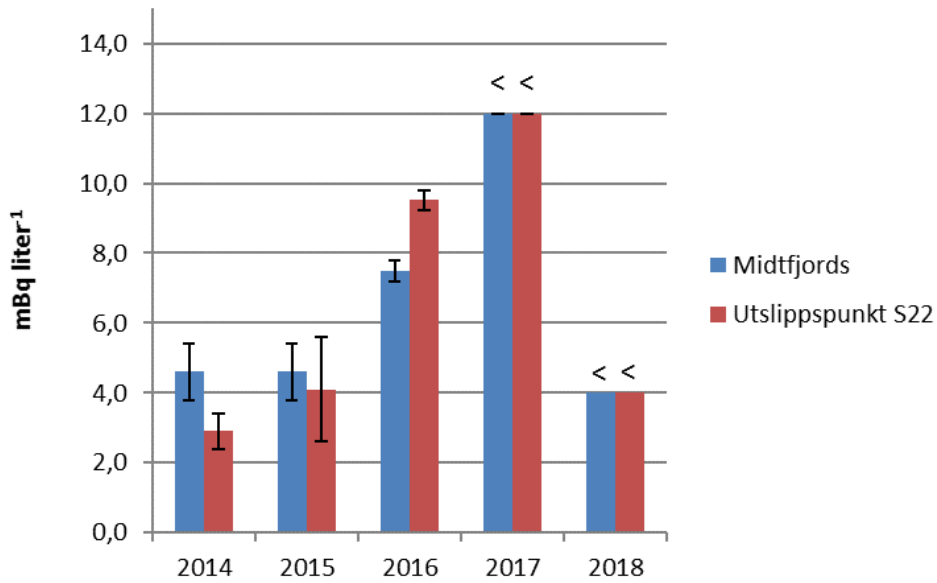
Figur 6 ²¹⁰Po i sjøvann ved utslippspunkt og midtfjords.

5.1.2.2 ²¹⁰Pb

Analyse av ²¹⁰Pb ga kun en deteksjonsgrense for prøvene fra 2018. Resultatene siden 2014 presenteres i figur 6 [6], [7], [8], [9]. Resultat under deteksjonsgrensen er merket med <

Oppmålte verdier siden oppstart av miljøovervåkingen er konsekvent høyere enn tilgjengelig litteraturdata.

Resultatet kan delvis forklares av det faktum at analysert vann ikke ble filtrert før analysen ble utført. Mange studier der vann analyseres tar utgangspunkt i at vannet først filtreres. For TiZir sitt utslipp er det kjent at utslippet består av partikler som havner i vannet i slamreanlegget og SO₂-vaskeren, og mindre trolig består av naturlig radioaktivitet som er løst opp i utslippsvannet. Derfor er det valgt å analysere miljøprøvene uten filtrering.

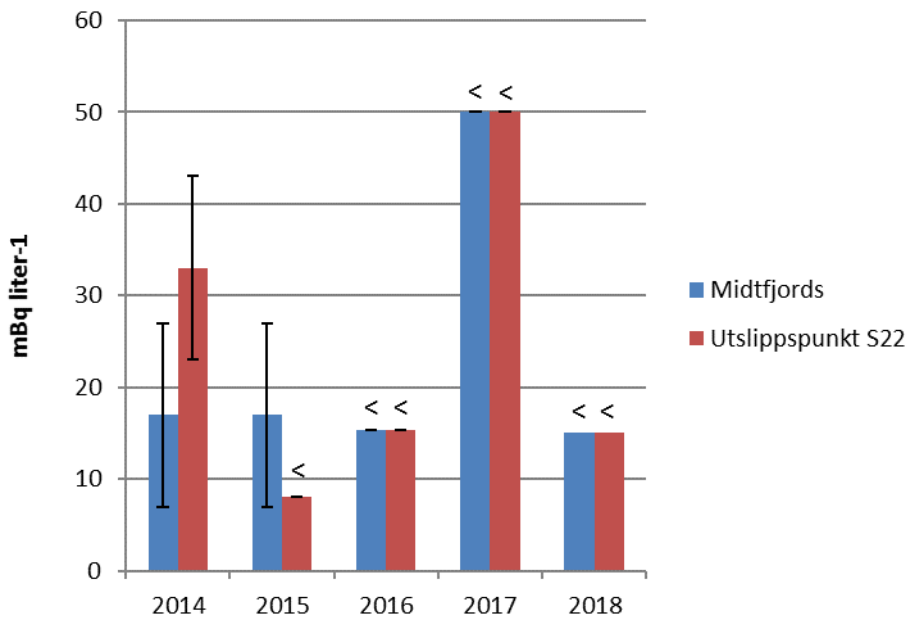


Figur 7 ²¹⁰Pb i sjøvann ved utslippspunkt og midtfjords.

5.1.2.3 Radium

Analyse av ²²⁶Ra og ²²⁸Ra i begge prøver ga i år kun en deteksjonsgrenser som resultat.

Resultat av ²²⁶Ra fra vann fra utslippspunktet er i samsvar med resultat fra vann tatt midtfjords, med resultat fra tidligere år, og med tilgjengelig litteratordata. Se figur 8, resultat under deteksjonsgrensen er merket med <



Figur 8 Ra-226 i sjøvann ved utslippspunkt og midtfjords.

5.2 Biota

5.2.1 Resultat biota

Bløtvev i fisk (brosme) og blåskjell ble analysert. Resultater er gitt i tabell 14.

Tabell 14 Måleresultater for biota ($Bq \cdot kg^{-1}$ våtvekt)

	Fisk	Blåskjell (innmat)
^{210}Po	< 1,7	44 ± 8
^{210}Pb	< 0,5	12,0 ± 1,2
^{226}Ra	< 0,12	0,17 ± 0,08
^{228}Ra	< 0,7	< 0,9

5.2.2 Diskusjon biota

Havlevende biota inneholder, på samme måte som havvann, alltid en viss mengde radioaktivitet. Når en skal se på innhold av radioaktivitet som kommer fra utslipp, må derfor målte verdier sammenlignes med hva som er vanlig bakgrunnsforekomst.

Generelt vet man at radium tas opp mest i skall og beinvev i fisk og skalldyr, mens bly og polonium finnes i bløtvevet. Fordi konsum av fisk og skalldyr først og fremst gjelder bløtvev, og fordi hovedutslippet fra Tizir er ^{210}Po og ^{210}Pb , er miljøovervåkingen konsentrert til analyser av bløtvev.

5.2.2.1 ^{210}Po og Pb i blåskjell

Innhold av ^{210}Po og ^{210}Pb i bløtdyr varierer mye, selv der det ikke kommer fra menneskeskapte utslipp. Det er ikke funnet litteraturdata på innhold av ^{210}Po i Norges fjorder, derfor blir data sammenlignet med det som er tilgjengelig, se tabell 15 og 16.

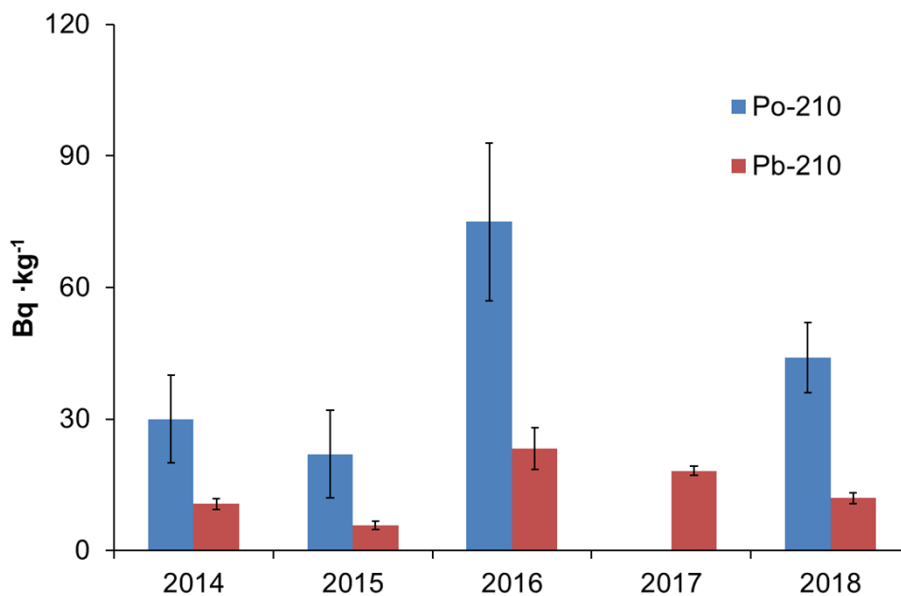
Tabell 15 Konsentrasjon av ^{210}Po i marine organismer

Art/ artskategori	Kons. våtvekt $Bq \cdot kg^{-1}$	Referanse
Bløtdyr, 8 arter	5,8 – 283	Carvalho, 2011 [14]
Fisk, 11 arter, muskelvev	0,52 – 66	Carvalho, 2011 [14]
Fisk	0,25 – 760	Hosseini, 2010 [15]

Tabell 16 Konsentrasjon av ^{210}Pb i marine organismer.

Art/artskategori	Kons. våtvekt $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	Referanse
Bløtdyr, 8 arter	0,5 – 5,6	Carvalho, 2011 [14]
Fisk, 11 arter, muskelvev	0,15 – 2,8	Carvalho, 2011 [14]
Fisk	0,003 – 2,00	Hosseini, 2010 [15]

I figur 9 presenteres innhold av ^{210}Po og ^{210}Pb i blåskjell i perioden 2014-2018 [6], [7], [8], [9]. Der mulig er det forsøkt trukket noen konklusjoner om innholdet.



Figur 9. Konsentrasjoner av ^{210}Po og ^{210}Pb i blåskjell prøvetatt 2014-2018.

Oppmålt spesifikk aktivitet av ^{210}Pb i blåskjell er i samme størrelsesorden som tidligere år og forhøyet sammenlignet med litteraturdata. Blåskjell filtrerer vannet for næringspartikler og planteplankton, og vil lett ta opp annet partikulært materiale som er tilstede i vannmassen. De kan derfor ses på som en bioindikator for partikulær marin forurensning.

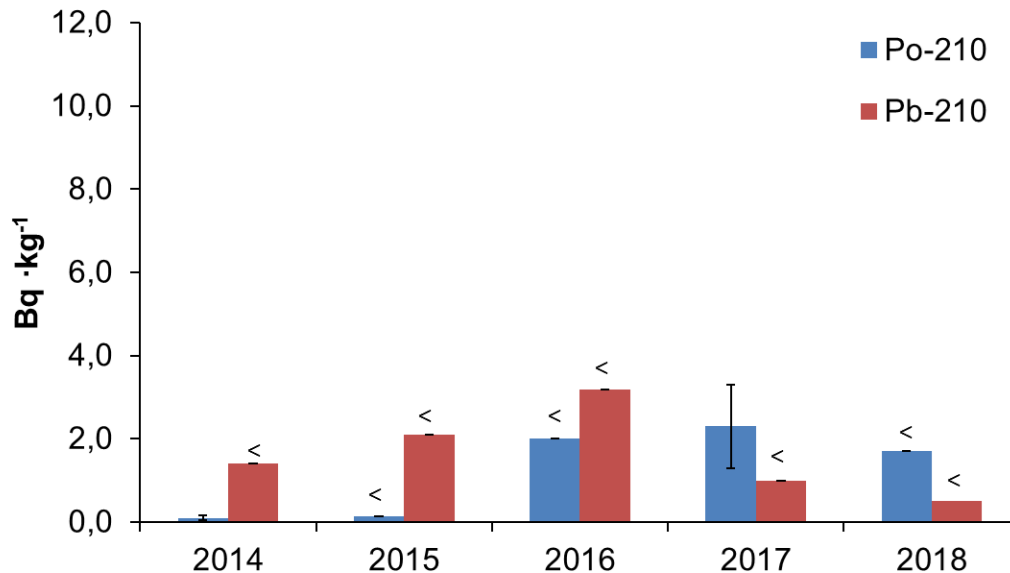
Oppkonsentrering av bly i blåskjell er en kjent problemstilling i Sjøfjorden fra før, selv om det ikke hittil har vært fokus på det radioaktive blyet. Mattilsynet har hatt kostholdsråd for området siden 1973 med bakgrunn i forurensning av kadmium, bly, kvikksølv og PCB. Disse ble sist vurdert i 2013 [16]. Rådene fraråder blant annet konsum av skjell og dypvannsfisk, som brosme og lange, fanget i Sjøfjorden innenfor en linje mellom Grimo og Krossanes.

Oppmålt spesifikk aktivitet av ^{210}Po i blåskjell er innenfor variasjonen i litteraturdata.

5.2.2.2 ^{210}Po og ^{210}Pb i fisk

På samme måte som for bløtdyr varierer innhold av ^{210}Po og ^{210}Pb i fisk mye. Det er ikke funnet litteraturdata på innhold av ^{210}Pb i Norges fjorder, derfor blir data sammenlignet med det som er tilgjengelig av prøver tatt andre steder, se tabell 15 og 16.

I figur 10 presenteres innhold av ^{210}Po og ^{210}Pb i fisk i perioden 2014-2018 [6], [7], [8], [9].



Figur 10 Konsentrasjoner av ^{210}Po og ^{210}Pb i fisk prøvetatt i 2014-2018.

Alle resultat av ^{210}Pb i fisk i figur 9 representerer deteksjonsgrenser fra en gammamåling. Det er vanskelig å konkludere om innhold av ^{210}Pb i fisk, annet enn at det er i samme størrelsesorden som litteraturdata.

Resultat av ^{210}Po i fisk er innenfor variasjonen i litteraturdata.

5.2.2.3 Radium

Alle havlevende dyr inneholder en viss mengde radium (fremst ^{226}Ra og ^{228}Ra). Radium oppkonsentreres generelt mest i skall og benvev, da det kjemisk ligner på kalsium og derfor følger dennes metabolisme. Aktivitetskonsentrasjonen av radium i bløtvev er derfor ofte relativt lav. I tillegg varierer nivået mye mellom ulike typer organismer.

Det er ikke funnet litteraturdata på innhold av radium i Norges fjorder, derfor blir data sammenlignet med det som er tilgjengelig, se tabell 17.

Tabell 17 Konsentrasjoner av ^{226}Ra og ^{228}Ra i marine organismer i Bq · kg⁻¹ våtvekt.

Art/artskategori	^{226}Ra	^{228}Ra	Referanse
Muslinger	0,36 – 1,5	0,26 ± 0,02	IAEA, 2014 [10]
Fisk, muskelvev	0,4 – 0,6	-	IAEA, 2014 [10]
Fisk	0,002 – 4,30	1,80 ± 7,20	Hosseini, 2010 [15]

Innhold av ^{226}Ra og ^{228}Ra i fisk er godt innenfor litteraturverdiene.

Aktivitetskonsentrasjon av ^{226}Ra i blåskjell er i samsvar med litteraturen.

Analyse av ^{228}Ra i blåskjell er utført via en gammaanalyse på tørket materiale. Deteksjonsgrensen har da blitt høyere enn angitte litteraturverdier. Det er derfor ikke mulig å konkludere om målt verdi er over eller i samsvar med forventet nivå.

5.3 Sedimenter

Sedimenter er prøvetatt i 2018 i samband med TiZirs eksisterende overvåkingsprogram for ikke-radioaktive utslipp, som avtalt med DSA. Sedimenter ble sist prøvetatt i 2015.

Sedimentprøvene som er analysert er 2 replikater fra samme lokalitet. Det er prøvetatt det øverste sjiktet, 0-1 cm fra sedimentoverflaten.

Tabell 18 Måleresultater for sedimenter ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ tørrvekt).

	S1-I	S1-II
^{210}Po	0 *	0 *
^{210}Pb	270 ± 50	250 ± 30
^{226}Ra	73 ± 9	69 ± 10
^{230}Th	220 ± 70	160 ± 40
^{234}U	70 ± 7	73 ± 7
^{238}U	77 ± 7	73 ± 7
^{228}Th	1400 ± 400	520 ± 120
^{228}Ra	66 ± 19	53 ± 13
^{232}Th	1100 ± 400	380 ± 90
^{235}U	$3,2 \pm 1,1$	$2,2 \pm 0,8$

* Grunnet decay-korrigerering basert på innhold av ^{210}Po og ^{210}Pb ved måleøyeblikket, blir beregnet spesifikk aktivitet negativ, dvs. all målt ^{210}Po kommer fra inngroing fra ^{210}Po . Måleresultatet settes til null.

Innhold av ^{210}Pb og Ra i sedimentene er i samme størrelsesorden som i 2015.

Det er ikke mulig å konkludere om forskjell i resultat av Th og U sammenlignet med i 2015 beror på naturlig variasjon eller henger sammen med utslipp fra TiZir, grunnet for lite data. Observer at utslipp av Th og U fra TiZir for det meste består av innhold som finnes naturlig i sjø- og ferskvann som brukes inn i prosessen.

6 Konklusjon miljøovervåkingsprogram

Det er prøvetatt vann, fisk og blåskjell i Sørfjorden for å gjennomføre et miljøovervåkingsprogram for TiZir Titanium & Iron sin virksomhet.

Innhold av ^{210}Pb i blåskjell er noe over det normale, sammenlignet med litteraturdata, og i samme størrelsesorden som tidligere år.

For øvrige prøver er målte nivåer i samsvar med litteraturdata eller under deteksjonsgrensen for analysen.

7 Referanser

- [1] Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall FOR-2010-11-01-1394
- [2] Utslippstilatelse ref TU13-28. Saksbehandler Marte Varpen Holmstrand
- [3] Lloyd A. Currie, 1968. Limits for Qualitative Detection and Quantitative Determination – Application to Radiochemistry. Analytical Chemistry, Vol. 40, No. 3.
- [4] Miljødirektoratet, 2018. Veiledertil egenkontrollrapportering – Årlig rapportering til forurensningsmyndighetene M-112
- [5] IFE/KR/F-2014/029 Forslag til overvåkingsprogram for utslipp til sjø og luft, samt kontroll av ytre miljø rundt TiZir Titanium & Iron sin virksomhet i Tyssedal
- [6] IFE/KR/F-2015/032 Utslipp av radionuklider og resultater fra miljøovervåkingen for TiZir Titanium & Iron AS - Tyssedal 2014
- [7] IFE/KR/F-2016/019 Utslipp av radionuklider og resultater fra miljøovervåkingen for TiZir Titanium & Iron AS - Tyssedal 2015
- [8] IFE/KR/F-2017/013 Utslipp av radionuklider og resultater fra miljøovervåkingen for TiZir Titanium & Iron AS - Tyssedal 2016
- [9] IFE/F-2018/001 Utslipp av radionuklider og resultater fra miljøovervåkingen for TiZir Titanium & Iron AS - Tyssedal 2017
- [10] IAEA, 2014. The environmental behaviour of radium, Revised edition Technical report series no. 476. International Atomic Energy Agency
- [11] Plater, A. J., Ivanovich, M. and Dugdale, R. E., 1995. ^{226}Ra contents and $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ activity ratios of the Fenland rivers and the Wash, Eastern England: spatial and seasonal trends. Chemical Geology 119(1-4): 275-292.
- [12] Köster, H. W., Marwitz, P. A., Berger G. W., van Weers A. W., Hagel, P. and Nieuwenhuize, J., 1992. ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra in aquatic ecosystems and polders, anthropogenic sources, distribution and enhanced radiation doses in the Netherlands. Radiation Protection Dosimetry 45(1-4): 715-719.
- [13] Cherry, R. D. and Heyraud, M., 1988. Lead-210 and polonium-210 in the world's oceans. Inventories of selected radionuclides in the oceans, IAEA-TECDOC-481. International Atomic Energy Agency.
- [14] Carvalho, F. P., 2011. Polonium (^{210}Po) and lead (^{210}Pb) in marine organisms and their transfer in marine food chains. Journal of Environmental Radioactivity 102.
- [15] Hosseini, A et al, 2010. Background dose-rates to reference animals and plants arising from exposure to naturally occurring radionuclides in aquatic environments. Journal of Radiological Protection 30.
- [16] http://www.matportalen.no/matvaregrupper/tema/fisk_og_skalldyr/aatvarar_mot_djupvassfi_sk_og_skjel_i_hardangerfjordensorfjorden. 27.02.2019



Tittel: Utslipp av radionuklider og resultater fra miljøovervåkingen for TiZir Titanium 2018

Dokumentklasse:

Signaturer:

Author:	Paula Nunez ife.no\Paula.Nunez	2019-02-28 11:48:26 (UTC+00:00)
Author:	Cato Christian Szacinski Wendel ife.no\Cato.Wendel	2019-02-28 11:50:02 (UTC+00:00)
Review Approval:	Tore Ramsøy ife.no\Tore.Ramsøy	2019-02-28 11:51:55 (UTC+00:00)
Content Approval:	Elisabeth Strålberg ife.no\Elisabeth.Stralberg	2019-02-28 11:57:09 (UTC+00:00)