IFE/KR/F-2004/67

# Radiologisk undersøkelse i Himdalen 2002 - resultater av målinger etter 5 års drift av KLDRA

Institutt for energiteknikk
Institute for Energy Technology

| | KJELLER | HALDEN | Tilgjengelighet |
|---|---|---|---|
| Postadresse | NO-2027 Kjeller | NO-1751 Halden | Innskrenket |
| Telefon | +47 63 80 60 00 | +47 69 21 22 00 | |
| Telefax | +47 63 81 25 61 | +47 69 21 22 01 | |

| | |
|---|---|
| **Rapportnummer** IFE/KR/F-2004/067 | **Dato** 2004-04-15 |
| **Rapporttittel** Radiologisk undersøkelse i Himdalen 2002 - resultater av målinger etter 5 års drift av KLDRA | **Revisjonsnummer** |
| **Oppdragsgiver** Statsbygg | **Antall sider** 22 |
| **Oppdragsgivers referanse** | **Antall eksemplar** 30 |

**Sammendrag**


Rapporten inneholder resultatene fra en radiologisk undersøkelse av Himdalen foretatt etter 5 års drift av Kombinert lager og deponi for lav- og middelsradioaktivt avfall (KLDRA) i Himdalen. Prøvetakingen er foretatt i 2002, og programmet fra bakgrunnskartleggingen utført før åpningen av anlegget er i hovedsak gjentatt. Prøvetakingen omfatter vann (drensvann fra KLDRA, drikkevann fra brønner, bekkevann, overflatevann og grunnvann), bekkesedimenter, myrmateriale, vegetasjon og fauna.

Konsentrasjoner av både menneskeskapt og naturlig radioaktivitet i Himdalen etter 5 års drift av KLDRA Himdalen var på samme nivå som under kartleggingen foretatt før åpningen av anlegget. Konsentrasjonen av menneskeskapte radionuklider var i alle vannprøver lavere enn de foreslåtte aksjonsgrensene (0,2 Bq/liter for $^{137}$Cs og 0,08 Bq/liter for $^{90}$Sr) gitt i IFEs sikkerhetsrapport for drift av deponiet i Himdalen. Aksjonsgrensene er satt slik at dosen til enkeltindivider fra vannkonsum ikke skal overskride en mikrosievert i året.


**Distribusjon**

K. Bendiksen
A. Råheim
E. S. Dugstad
B. Andresen
S. Backe
T. E. Bøe
G. C. Christensen

Statens strålevern (2)
Statsbygg
Skedsmo kommune
Fet kommune
Aurskog Høland kommune

Bibliotek
Arkiv

**Sammendrag:**
Direktører
Prosjektledelse, Halden
Avdelingssjefer


**Stikkord:** Himdalen, KLDRA, radioaktivitet, overvåkning


| | Navn | Dato | Signatur |
|---|---|---|---|
| Utarbeidet av | Aud Raaum<br>Trygve O. Bjerk | 2004-04-15 | |
| Kontrollert av | Elisabeth Strålberg | 2004-04-15 | |
| Godkjent av | Gordon C. Christensen | 2004-04-15 | |

Field Code Changed
Formatted: English (U.S.)
Formatted: English (U.S.)

## Innhold


**1 Introduksjon 1**

**2 Metodebeskrivelse 2**
2.1 Prøvetaking 2
2.2 Forbehandling og analyse 3

**3 Resultater 4**
3.1 Dreneringsvann 4
3.2 Drikkevann 5
3.3 Bekkevann 6
3.4 Overflatevann 7
3.5 Grunnvann 8
3.6 Bekkesediment 8
3.7 Myrmateriale 10
3.8 Vegetasjon 12
3.9 Fisk og vilt 14

**4 Konklusjoner 15**

**5 Referanser 15**

# 1 Introduksjon

Kombinert lager og deponi for lav og middels aktivt avfall (KLDRA) i Himdalen ble åpnet i 1998. I forbindelse med byggingen av anlegget gjennomførte Institutt for energiteknikk, på oppdrag fra Statsbygg, en kartlegging av radioaktiviteten i området der deponiet skulle ligge (Varskog og Bergan, 1998). Prøveprogrammet besto av en rekke biologiske og ikke-biologiske prøver. De fleste prøvene ble tatt i 1996-97. Hensikten var å dokumentere bakgrunnsnivåene slik at disse var kjent når drift av anlegget skulle settes i gang. I følge sikkerhetsrapporten for KLDRA Himdalen (1997) skulle det etter en driftperiode på fem år vurderes om kartleggingsprogrammet fra 1996/97 skulle gjentas. Denne undersøkelsen kommer i tillegg til det rutinemessige kontrollprogrammet for anlegget, som er konsentrert om innsamling og analyse av vannprøver fra anleggets drenssystemer og overflatevann fra omkringliggende tjern. Resultatet av den rutinemessige overvåkingen rapporteres i den årlige utslippsrapporten for IFE, Kjeller, men resultatene for 2002 er også tatt med i denne rapporten.

Overvåkingsprogrammet omfatter både menneskeskapte og naturlige radioaktive stoffer. De naturlige radionuklidene ble inkludert fordi det blir lagret lavaktivt avfall som inneholder uran i anlegget.

Bakgrunnsaktiviteten fra menneskeskapte radionuklider i området stammer fra nedfall fra atmosfæriske prøvesprengninger av atombomber og fra Tjernobylulykken. Aktiviteten utgjøres av en rekke radionuklider tilhørende forskjellige grunnstoffer. Dannelsen av disse stoffene (hovedsaklig som fisjonsprodukter i kjernereaktorer og kjernefysiske våpen) følger kjente mønstre og forholdet mellom de ulike menneskeskapte radionuklidene kan i stor grad forutsees. Dette, sammen med viten om kjemiske egenskaper, halveringstid, radiologisk giftighet og opphav, har dannet basis for å fokusere overvåkingsprogrammet på målinger av cesium-137 ($^{137}$Cs), strontium-90 ($^{90}$Sr), plutonium ($^{239,\,240}$Pu) og kobolt-60 ($^{60}$Co).

Naturlig radioaktivitet på landjorda stammer hovedsaklig fra kalium ($^{40}$K), uran og thorium. For uran ($^{238}$U og $^{235}$U) og thorium ($^{232}$Th) dannes radioaktiviteten i flere trinn i kjeder som tilslutt ender i ikke-radioaktivt bly. I naturen finnes uran hovedsaklig som $^{238}$U (99,3 %). For de vanligste bergartene i Norge dominerer radioaktiviteten fra $^{238}$U-kjeden over radioaktiviteten fra $^{232}$Th-kjeden. Det lavaktive avfallet i Himdalen inneholder hovedsakelig naturlig uran. Måling av naturlige radionuklider er derfor konsentrert om måling av nuklider i $^{238}$U-kjeden. Bestemmelsene er hovedsaklig basert på måling av $^{214}$Pb. Etter innstilt radioaktiv likevekt regnes verdiene for $^{214}$Pb i biologisk materiale og vannprøver som representative for kjeden fra og med $^{226}$Ra til og med $^{210}$Po. For jord-/sedimentprøver regnes verdien for $^{214}$Pb som representativ for hele kjeden fra og med $^{238}$U. For best mulig å kunne avsløre eventuelle lekkasjer fra anlegget av uran eller stoffer som stammer fra uran, er noen vannprøver analysert med hensyn på både $^{238}$U og $^{214}$Pb.

Kartleggingen fra 1996/97 viste at nivåene for $^{137}$Cs var som forventet ut fra kunnskap om nedfall fra atmosfæriske prøvesprengninger av atombomber og fra Tjernobylulykken. Det ble observert store variasjoner i nivåene for både menneske-

skapte og naturlige radionuklider, spesielt for biologisk materiale, myrmateriale og bekkesedimenter. Det er kjent fra andre undersøkelser (McGee, 1995, Varskog, 1994) at nivåene for menneskeskapt radioaktivitet kan variere svært mye selv over korte avstander. De målte aktivitetene av menneskeskapte radionuklider var i alle vannprøvetyper betydelig lavere enn de foreslåtte aksjonsgrensene for eksternt drensvann (0,2 Bq/liter for $^{137}$Cs og 0,08 Bq/liter for $^{90}$Sr) gitt i IFEs sikkerhetsrapport for drift av deponiet i Himdalen.

Denne undersøkelsen er med få unntak en gjentagelse av kartleggingsprogrammet fra 1996/97.

# 2 Metodebeskrivelse

## 2.1 Prøvetaking

Prøvetakingsprogrammet ble hovedsaklig utført vår og høst 2002. Med få unntak ble programmet fra 1996/97 gjentatt. Følgende prøvetyper er inkludert:

- dreneringsvann fra de fire hallene tatt fra henholdsvis ”aktiv kum” som samler opp vann fra sarkofagene og ”inaktiv kum” som samler opp vann utenfor sarkofagene, samt dreneringsvann fra tunnelen utenfor hallene tatt fra ”utvendig kum”.
- bekkevann, bekkesedimenter, og myrjord (utvalgte lokaliteter i bekk og myr på begge sider av vannskillet). Bekkesedimenter og myrjord ble delt i segmenter etter dybde med 5 cm intervaller.
- drikkevann fra private brønner i området rundt anlegget
- overflatevann (utvalgte innsjøer beliggende i området rundt anlegget)
- grunnvann fra borehull
- vegetasjon (treslag og planter som utgjør den dominerende vegetasjonen i området): torvmyrull (*Eriophorum vaginatum*), blåbær (*Vaccinium myrtillus*), lav (hovedsaklig *Cladina stellaris*), furu (*Pinus sylvestris L.*), bjørk (*Betula pubescens*) og sopp (diverse sorter).
- elg (skutt i området), fisk (Dalatjern og Vinlandstjern) og kumelk fra et gårdsbruk i Himdalen.

Prøvetaking av vegetasjon, bekkevann, bekkesedimenter, myrjord, overflatevann og fisk ble utført av Avd. Miljø- og strålevern, IFE. Myr- og sedimentprofiler ble samlet inn ved hjelp av Eijkelkamp vribor, diameter 7 cm. Profilene ble delt inn i skikt på 5 cm. Prøvetaking av grunnvann og drikkevann ble foretatt av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVK) vannbygningskontoret. Vannprøvenes volum var 5 liter. En prøve av elg (kjøtt m/knokler) ble gitt av Halvor Johnsen.

Prøvesteder (lokaliteter)

Alle prøvesteder unntatt for prøver av drikkevann og grunnvann er vist i figur 1.

Prøver av bekkevann og bekkesedimenter ble tatt på lokalitetene 1-6 beliggende på en gradient fra nord til syd i Himdalen. Lokalitet 1, 2, 3 og 5 ligger nord for vannskillet og har dermed vannføring nordover. Lokalitet 6 ligger syd for vannskillet med vannføring sydover. Lokalitet 4 ligger i område A. Bekken med lokalitet 4 renner sammen med den nordgående bekken mellom lokalitet 3 og 5. KLDRA Himdalen ligger nord for vannskillet, og drensvann fra anlegget renner nordover.

I alt 4 prøver av drikkevann ble innhentet sommeren 2002. Nærmere opplysninger om lokalitetene er gitt i tabell 3 sammen med måleresultatene. Prøvestedene er vist i figur 2. I 1996/97 ble det tatt prøver fra 6 gårder, der 4 av disse lå syd for vannskillet. Siden drensvann fra KLDRA vil renner nordover, ble to av gårdene syd for vannskillet ikke tatt med i denne undersøkelsen.

Prøvene av overflatevann ble tatt i tjernene Blytetjern (7) og Dalatjern (10) i Himdalen henholdsvis nord og sør for vannskillet, og tjernene Lomtjern (8) og Sæterbutjern (9) som ligger 500-700 meter ovenfor og nord-øst for anlegget.

Prøver av myrmateriale ble tatt på lokaliteter i selve Himdalen (11 og 12) og i område B (13 og 14).

Prøver av grunnvann ble hentet fra borehullene som ble boret i forbindelse med forhåndskartleggingen i 1996. I en del av borehullene var det ikke nok vann til at det var teknisk mulig å få tatt prøver. Prøvestedene er vist i figur 3.

Vegetasjonsprøver ble tatt i to områder, A og B. A ligger i terrenget rett over deponiet og B ca. 300-500 meter nord-øst for deponiet. Prøvene ble tatt ved at materiale ble innsamlet over et så stort areal som mulig innenfor det gitte området for å sikre representative resultater.

Melkeprøven ble hentet fra Torud gård (se figur 2). Elgprøvene (en prøve av kjøtt og en av knokkel) ble tatt fra en elg skutt i området rundt anlegget. Fiskeprøvene ble tatt i Dalatjern og Vinlandstjern.

## 2.2 Forbehandling og analyse

Vannprøvene (5 liter) ble filtrert (0,45 μm) og dampet inn til egnet volum for analyse. Ved inndampning samles aktiviteten fra et større volum, noe som gir en lavere deteksjonsgrense.

Sedimenter, myrmateriale og biologiske prøver ble tørket til konstant vekt ved 105°C og homogenisert. Før radiokjemisk analyse (bestemmelse av Sr og Pu) ble prøvene forasket.

Målingene av $^{137}$Cs, $^{60}$Co og $^{214}$Pb ble utført ved hjelp av høyoppløselig gammaspektrometri. Før måling ble prøvene oppbevart i tette beholdere i ca 3 uker for innstilling av radioaktiv likevekt i den radioaktive kjeden fra og med $^{226}$Ra til og med

$^{210}$Po. Målinger av $^{90}$Sr ble utført ved telling i lavbakgrunns beta-kamre etter kjemisk separasjon. Målinger av $^{239, 240}$Pu ble utført ved hjelp av alfaspektrometri etter kjemisk separasjon. Måling av uran ble utført ved hjelp av nøytronaktiveringsanalyse.

Måleusikkerhet og deteksjonsgrenser avhenger av prøvens størrelse, aktivitets-konsentrasjon, hvor lenge målingen pågår og kvaliteten på utstyret som brukes.

# 3 Resultater

Nedenfor er resultater fra bestemmelse av menneskeskapt og naturlig radioaktivitet i de innsamlede prøvene vist og diskutert ordnet etter prøvetype. Rapportert måleusikkerhet er en utvidet usikkerhet basert på en standard usikkerhet multiplisert med en dekningsfaktor på 2, som gir et dekningsnivå på tilnærmet 95 %.

For menneskeskapte gammaemitterende radionuklider ble det målt nevneverdige verdier bare for $^{137}$Cs. Resultater for $^{60}$Co (deteksjonsgrenseverdier) er imidlertid også inkludert i tabellene for vannprøver.

## 3.1 Dreneringsvann

Konsentrasjonene av $^{137}$Cs og $^{90}$Sr var for alle prøvene lavere enn aksjonsgrensene for eksternt drensvann gitt i sikkerhetsrapporten for KLDRA Himdalen (1997), som er 0,2 Bq/liter for $^{137}$Cs og 0,08 Bq/liter for $^{90}$Sr. I aktiv kum samles det opp vann fra innstøping av avhallsbeholderne i sarkofagene. Dette vannet vil kunne ta med seg eventuelle forurensninger på overflaten av avfallsbeholderne, noe som kan forklare et noe forhøyet nivå av $^{137}$Cs i aktiv kum. Konsentrasjonene av $^{239/240}$Pu var under deteksjonsgrensen for alle prøvene, mens konsentrasjonene av $^{90}$Sr var på samme nivå som for andre vannprøver. Deteksjonsgrensene var noe høyere for disse prøvene enn for andre vannprøver. Det skyldes at det hadde samlet seg forholdsvis lite vann i kummene, slik at prøvemengden ble mindre. De målte deteksjonsgrensene for $^{239/240}$Pu avviker noe fra det som ble rapportert i utslippsrapporten for IFE, Kjeller for 2002. Dette skyldes at formelen for beregning av deteksjonsgrense har blitt endret i mellomtiden.

*Tabell 1: Innhold av menneskeskapt radioaktivitet i dreneringsvann fra Himdalenanlegget. Alle verdier er gitt som Bq/liter.*

| **Beskrivelse** | **$^{137}$Cs** | **$^{90}$Sr** | **$^{239/240}$Pu** | **$^{60}$Co** |
|---|---|---|---|---|
| Aktiv kum | 0,14 ± 0,03 | 0,0026 ± 0,0004 | < 0,00016 | < 0,013 |
| Inaktiv kum | < 0,16 | 0,0044 ± 0,0007 | < 0,00011 | < 0,015 |
| Utvendig kum | < 0,09 | 0,0035 ± 0,0005 | < 0,00020 | < 0,080 |

Innholdet av naturlige radionuklider var på samme nivå som det man finner i vannprøver fra naturen.

*Tabell 2: Innhold av naturlig radioaktivitet i dreneringsvann fra Himdalenanlegget. Prøvene er målt etter innstilt radioaktiv likevekt, og verdiene for $^{214}$Pb representerer derfor aktiviteten i den radioaktive kjeden fra $^{226}$Ra til $^{210}$Po i $^{238}$U-serien. Alle verdier er gitt som Bq/liter.*

| **Beskrivelse** | **$^{214}$Pb** | **$^{238}$U** |
|---|---|---|
| Aktiv kum | < 0,05 | 0,94 ± 0,19 |
| Inaktiv kum | < 0,05 | 0,15 ± 0,03 |
| Utvendig kum | < 0,3 | 0,21 ± 0,04 |

## 3.2 Drikkevann

Innholdet av menneskeskapte nuklider i brønnvann var under deteksjonsgrensen for de fleste prøvene. Deteksjon av $^{137}$Cs i prøven fra Vinland gård skyldes sannsynligvis en kontaminering av prøven, da det ble oppdaget at laboratoriet var kontaminert i den perioden prøven ble behandlet. Den målte verdien er likevel lavere enn aksjonsgrensen for vann oppgitt i sikkerhetsrapporten for KLDRA Himdalen på 0,2 Bq/liter. Brønnen ligger også høyere opp i terrenget enn Himdalenanlegget og ville derfor ikke blitt berørt ved en eventuell lekkasje fra anlegget.

*Tabell 3: Innhold av menneskeskapt radioaktivitet i drikkevann fra brønner i og i nærheten av Himdalen. Alle verdier er gitt som Bq/liter.*

| **Beskrivelse** | **$^{137}$Cs** | **$^{90}$Sr** | **$^{239/240}$Pu** | **$^{60}$Co** |
|---|---|---|---|---|
| Vinland gård, gnr./br.nr. 70/1, v/Ingebjørg Brændholen | *0,14 ± 0,02 | < 0,0006 | < 0,0002 | < 0,008 |
| Gnr./br.nr. 70/9, v/ Nina Ringstad | < 0,014 | < 0,0008 | < 0,0005 | < 0,012 |
| Logn gård, gnr./br.nr. 88/3, 9, v/Reidar Granerud | < 0,011 | < 0,0004 | < 0,0004 | < 0,010 |
| Gnr./br.nr. 85/1, v/Gulbrand Haugen | < 0,011 | < 0,0017 | < 0,0013 | < 0,010 |

* Prøven har sannsynligvis blitt kontaminert under behandlingen i laboratoriet. Den reelle verdien antas derfor å være betydelig lavere.

De observerte nivåene for naturlig radioaktivitet (tabell 4) er som forventet for brønnvann, men ligger noe høyere enn det som ble målt i 1996.

*Tabell 4: Innhold av naturlig radioaktivitet i drikkevann fra brønner i og i nærheten av Himdalen. Prøvene er målt etter innstilt radioaktiv likevekt, og verdiene for $^{214}$Pb representerer derfor aktiviteten i den radioaktive kjeden fra $^{226}$Ra til $^{210}$Po i $^{238}$U-serien. Alle verdier er gitt som Bq/liter.*

| **Beskrivelse** | **$^{214}$Pb** | **$^{238}$U** |
|---|---|---|
| Vinland gård, gnr./br.nr. 70/1, v/Ingebjørg Brændholen | < 0,04 | 1,25 ± 0,25 |
| Gnr./br.nr. 70/9, v/ Nina Ringstad | < 0,05 | 0,26 ± 0,05 |
| Logn gård, gnr./br.nr. 88/3, 9, v/Reidar Granerud | < 0,05 | 0,068 ± 0,014 |
| Gnr./br.nr. 85/1, v/Gulbrand Hagen | 0,053 ± 0,017 | 0,004 ± 0,001 |

## 3.3 Bekkevann

Innholdet av $^{137}$Cs, $^{60}$Co og $^{239/240}$Pu i bekkevann fra Himdalen var under deteksjonsgrensen for de fleste prøver. For $^{90}$Sr viste verdiene liten variasjon, og lå mellom 0,005 og 0,009 Bq/liter. Dette er noe lavere enn i 1996, noe som kan forventes ut fra fysisk og økologisk halveringstid.

*Tabell 5: Innhold av menneskeskapt radioaktivitet i bekkevann fra Himdalen fra vår og høst 2002. Lokalitetene er gitt i figur 1. Vår- og høstprøver er slått sammen for analyse av $^{90}$Sr og $^{239,240}$Pu. Alle verdier er gitt som Bq/liter. "–" angir manglende analyse.*

| **Lokalitet** | **$^{137}$Cs** | | **$^{239/240}$Pu** | **$^{90}$Sr** | **$^{60}$Co** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Vår** | **Høst** | | | **Vår** | **Høst** |
| 1 | < 0,010 | < 0,009 | < 0,00006 | 0,0057 ± 0,0008 | < 0,005 | < 0,004 |
| 2 | < 0,010 | < 0,023 | < 0,00009 | 0,0056 ± 0,0008 | < 0,009 | < 0,020 |
| 3 | < 0,005 | 0,065 ± 0,014 | < 0,00006 | 0,0072 ± 0,0009 | < 0,005 | < 0,011 |
| 4 | < 0,12 | < 0,012 | 0,00011 ± 0,00004 | 0,0076 ± 0,0009 | < 0,008 | < 0,011 |
| 5 | < 0,10 | < 0,008 | - | 0,0085 ± 0,0010 | < 0,025 | < 0,008 |
| 6 | < 0,020 | < 0,021 | - | 0,0062 ± 0,0008 | < 0,016 | < 0,019 |

Innholdet av naturlig radioaktivitet var under deteksjonsgrensen ($^{214}$Pb) for alle prøvene av bekkevann (tabell 6).

*Tabell 6: Innhold av naturlig radioaktivitet i bekkevann fra Himdalen. Lokalitetene er gitt i figur 1. Prøvene er målt etter innstilt radioaktiv likevekt, og verdiene for $^{214}$Pb representerer derfor aktiviteten i den radioaktive kjeden fra $^{226}$Ra til $^{210}$Po i $^{238}$U-serien. Alle verdier er gitt som Bq/liter.*

| **Lokalitet** | **$^{214}$Pb** | |
|---|---|---|
| | **Vår** | **Høst** |
| 1 | < 0,03 | < 0,04 |
| 2 | < 0,05 | < 0,05 |
| 3 | < 0,03 | < 0,05 |
| 4 | < 0,03 | < 0,04 |
| 5 | < 0,06 | < 0,02 |
| 6 | < 0,05 | < 0,06 |

## 3.4 Overflatevann

Innholdet av menneskeskapte gammaemitterende nuklider ($^{137}$Cs og $^{60}$Co) i overflatevann fra Himdalen var under deteksjonsgrensen for de fleste prøver. Innholdet av $^{90}$Sr og $^{239,240}$Pu var på samme nivå som eller lavere enn i 1996.

*Tabell 7: Innhold av menneskeskapt radioaktivitet i overflatevann fra Himdalen. Lokalitetene er gitt i figur 1. Vår- og høstprøver er slått sammen for analyse av $^{90}$Sr og $^{239,240}$Pu. Alle verdier er gitt som Bq/liter.*

| **Lokalitet** | **$^{137}$Cs** | | **$^{239/240}$Pu** | **$^{90}$Sr** | **$^{60}$Co** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Vår** | **Høst** | | | **Vår** | **Høst** |
| Blytetjern (7) | < 0,012 | < 0,010 | 0,00006 ± 0,00003 | 0,0057 ± 0,0007 | < 0,010 | < 0,008 |
| Lomtjern (8) | 0,066 ± 0,022 | < 0,008 | 0,00014 ± 0,00005 | 0,0064 ± 0,0008 | < 0,010 | < 0,006 |
| Sæterbutjern (9) | < 0,010 | < 0,010 | < 0,00006 | 0,0057 ± 0,0007 | < 0,006 | < 0,008 |
| Dalatjern (10) | < 0,009 | < 0,008 | < 0,00005 | 0,0059 ± 0,0007 | < 0,006 | < 0,008 |

Innholdet av naturlig radioaktivitet var under deteksjonsgrensen ($^{214}$Pb) for alle prøver av overflatevann (tabell 8).

*Tabell 8: Innhold av naturlig radioaktivitet i overflatevann fra Himdalen. Lokalitetene er gitt i figur 1. Prøvene er målt etter innstilt radioaktiv likevekt, og verdiene for $^{214}$Pb representerer derfor aktiviteten i den radioaktive kjeden fra $^{226}$Ra til $^{210}$Po i $^{238}$U-serien. Alle verdier er gitt som Bq/liter.*

| **Lokalitet** | **$^{214}$Pb** | |
|---|---|---|
| | **Vår** | **Høst** |
| Blytetjern (7) | < 0,05 | < 0,03 |
| Lomtjern (8) | < 0,04 | < 0,04 |
| Sæterbutjern (9) | < 0,05 | < 0,03 |
| Dalatjern (10) | < 0,04 | < 0,04 |

## 3.5 Grunnvann

Det ble ikke funnet detekterbare mengder menneskeskapt radioaktivitet i prøvene av grunnvann fra borehull i fjell.

*Tabell 9: Innhold av radioaktivitet (menneskeskapt og naturlig) i grunnvann i Himdalen. Vannprøvene er tatt i forskjellig dybde i borehull over og ved deponiet (jfr. figur 3). Prøvene er målt etter innstilt radioaktiv likevekt, og verdiene for $^{214}$Pb representerer derfor aktiviteten i den radioaktive kjeden fra $^{226}$Ra til $^{210}$Po i $^{238}$U-serien. Alle verdier er gitt som Bq/liter.*

| **Borehull** | **Dybde** | **$^{137}$Cs** | **$^{60}$Co** | **$^{214}$Pb** |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 8 | < 0,024 | < 0,021 | < 0,05 |
| B | 15 | < 0,022 | < 0,021 | < 0,06 |
| E | 34 | < 0,011 | <0,010 | < 0,04 |
| G | 30 | < 0,010 | < 0,010 | < 0,028 |
| H | 20 | < 0,020 | < 0,022 | < 0,05 |
| H | 110 | < 0,008 | < 0,007 | < 0,024 |

## 3.6 Bekkesediment

Nivåene av $^{137}$Cs i bekkesedimenter (tabell 10) viser stor variasjon mellom prøver, men ligger på samme nivå eller litt lavere enn i 1996. For de fleste lokaliteter var aktiviteten som forventet høyest i de øverste skiktene.

Innholdet av $^{90}$Sr i bekkesedimenter lå i området 1-15 Bq/kg tørrvekt som er omtrent det samme som ble målt i 1996. Innholdet av $^{239/240}$Pu var noe lavere enn det som ble målt i 1996, og varierte fra < 0,06 til 0,82 Bq/kg tørrvekt.

*Tabell 10: Innhold av $^{137}Cs$ i bekkesedimenter fra Himdalen prøvetatt vår og høst 2002. Lokalitetene er gitt i figur 1. Alle verdier er gitt som Bq/kg tørrvekt.*

| Lokalitet | Sesong | 0 – 5 cm | 5 – 10 cm | 10 – 15 cm | 15 – 20 cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | vår | 260 ± 40 | 31 ± 4 | < 1,2 | - |
| | høst | 5,9 ± 1,4 | < 0,8 | < 0,9 | < 1,2 |
| 2 | vår | 14,0 ± 1,7 | 20,8 ± 2,4 | 173 ± 19 | 64 ± 8 |
| | høst | 60 ± 8 | 27 ± 4 | 9,8 ± 2,5 | < 2,1 |
| 3 | vår | 2,6 ± 0,6 | < 1,2 | < 0,7 | 1,3 ± 0,5 |
| | høst | 51 ± 8 | 16 ± 3 | 8 ± 4 | < 9 |
| 4 | vår | 12,9 ± 1,6 | - | - | - |
| | høst | 30 ± 4 | 17,7 ± 2,6 | 17 ± 4 | - |
| 5 | vår | 56 ± 10 | 88 ± 13 | 38 ± 6 | - |
| | høst | 43 ± 7 | < 9 | 9 ± 4 | - |
| 6 | vår | 171 ± 19 | 216 ± 25 | 61 ± 7 | - |
| | høst | 129 ± 15 | 52 ± 7 | 3,4 ± 1,6 | < 0,7 |

*Tabell 11: Innhold av $^{90}Sr$ og $^{239,240}Pu$ i bekkesedimenter fra Himdalen prøvetatt vår og høst 2002. Øverste sjikt av prøver fra vår og høst ble slått sammen. Lokalitetene er gitt i figur 1. Alle verdier er gitt som Bq/kg tørrvekt.*

| Lokalitet | $^{90}Sr$ | $^{239/240}Pu$ |
|---|---|---|
| | Vår + Høst | Vår + Høst |
| 1 | 1,00 ± 0,12 | 0,14 ± 0,05 |
| 2 | 2,7 ± 0,3 | 0,03 ± 0,02 |
| 3 | 0,46 ± 0,06 | 0,18 ± 0,03 |
| 4 | 2,5 ± 0,3 | < 0,06 |
| 5 | 14,8 ± 1,8 | 0,82 ± 0,12 |
| 6 | 2,3 ± 0,3 | 0,55 ± 0,11 |

Innholdet av naturlige radionuklider i bekkesedimenter var på samme nivå som i 1996. Aktiviteten var jevnt fordelt i sjiktene.

*Tabell 12: Innhold av $^{214}$Pb i bekkesediment fra Himdalen. For geografisk plassering av lokalitetene: se figur 1. Prøvene er målt etter innstilt radioaktiv likevekt, og verdiene for $^{214}$Pb representerer derfor aktiviteten i den radioaktive kjeden fra $^{226}$Ra til $^{210}$Po i $^{238}$U-serien. Alle verdier er gitt som Bq/kg tørrvekt. "–" angir manglende prøve.*

| Lokalitet | Sesong | 0 – 5cm | 5 – 10 cm | 10 – 15 cm | 15 – 20 cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | vår | 53 ± 8 | 45 ± 6 | 47 ± 6 | - |
| | høst | 46 ± 6 | 41 ± 5 | 37 ± 5 | 46 ± 6 |
| 2 | vår | 33 ± 4 | 34 ± 4 | 33 ± 4 | 45 ± 5 |
| | høst | 40 ± 6 | 41 ± 7 | 42 ± 7 | 37 ± 6 |
| 3 | vår | 19 ± 3 | 32 ± 5 | 39 ± 5 | 23 ± 3 |
| | høst | 29 ± 8 | 28 ± 6 | < 14 | < 22 |
| 4 | vår | 25 ± 3 | - | - | - |
| | høst | 36 ± 6 | 31 ± 5 | 36 ± 6 | - |
| 5 | vår | < 17 | < 21 | 34 ± 7 | - |
| | høst | < 12 | < 21 | 27 ± 12 | - |
| 6 | vår | 53 ± 8 | 66 ± 8 | 50 ± 6 | - |
| | høst | 25 ± 5 | 25 ± 4 | 23 ± 4 | 19 ± 3 |

## 3.7 Myrmateriale

Konsentrasjonen av $^{137}$Cs i myrprofiler (tabell 13) var på samme nivå som i 1996, og varierte i det øverste skiktet (0-5 cm) mellom 30 og 300 Bq/ kg tørrvekt. For de fleste prøvene, men ikke for alle, var det høyest konsentrasjon i det øverste skiktet. Det er ingen systematisk forskjell i nivå mellom prøver tatt vår og høst.

*Tabell 13: Innhold av $^{137}Cs$ i myrprofiler fra Himdalen. For geografisk plassering av lokalitetene: se figur 1. Alle verdier er gitt som Bq/kg tørrvekt. "–" angir manglende prøve.*

| Lokalitet | Sesong | 0 – 5cm | 5 – 10 cm | 10 – 15 cm | 15 – 20 cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | vår | 155 ± 19 | 45 ± 7 | 7,8 ± 1,6 | - |
| | høst | 50 ± 6 | 184 ± 23 | 206 ± 23 | 150 ± 17 |
| 12 | vår | 300 ± 40 | 154 ± 20 | < 30 | 176 ± 25 |
| | høst | 141 ± 17 | 154 ± 19 | 165 ± 19 | 195 ± 22 |
| 13 | vår | 100 ± 19 | 59 ± 18 | 37 ± 6 | - |
| | høst | 34 ± 5 | 35 ± 6 | 32 ± 5 | 34 ± 5 |
| 14 | vår | 92 ± 11 | 39 ± 5 | 30 ± 4 | 35 ± 4 |
| | høst | 213 ± 30 | 82 ± 10 | 25 ± 3 | 15,7 ± 2,2 |

Vår- og høstprøver fra det øverste sjiktet av myrprofilene ble slått sammen før analyse av $^{90}Sr$ og $^{239,240}Pu$. Konsentrasjonene var på samme nivå som i 1996.

*Tabell 14: Innhold av $^{90}Sr$ og $^{239,240}Pu$ i myrprøver fra Himdalen. Prøvene er sammenslåtte prøver av 0–5 cm sjiktet for vår og høst. For geografisk plassering av lokalitetene: se figur 1. Alle verdier er gitt som Bq/kg tørrvekt.*

| Lokalitet | $^{90}Sr$ | $^{239/240}Pu$ |
|---|---|---|
| 11 | 21,8 ± 2,6 | 0,52 ± 0,10 |
| 12 | 28 ± 3 | 0,65 ± 0,13 |
| 13 | 15,6 ± 1,8 | 1,25 ± 0,21 |
| 14 | 23,2 ± 2,8 | 2,44 ± 0,21 |

Innholdet av naturlig radioaktivitet (tabell 15) i myrprofiler var på samme nivå som i 1996.

*Tabell 15: Innhold av $^{214}$Pb i myrprofiler fra Himdalen. For geografisk plassering av lokalitetene: se figur 1. Prøvene er målt etter innstilt radioaktiv likevekt, og verdiene for $^{214}$Pb representerer derfor aktiviteten i den radioaktive kjeden fra $^{226}$Ra til $^{210}$Po i $^{238}$U-serien. Alle verdier er gitt som Bq/kg tørrvekt. "–" angir manglende prøve.*

| Lokalitet | Sesong | 0 – 5cm | 5 – 10 cm | 10 – 15 cm | 15 – 20 cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | vår | 61 ± 14 | < 10 | < 6 | – |
| | høst | 18 ± 4 | 37 ± 11 | 42 ± 6 | 59 ± 10 |
| 12 | vår | < 13 | < 16 | < 59 | < 28 |
| | høst | 17 ± 9 | 48 ± 12 | 22 ± 6 | 47 ± 9 |
| 13 | vår | < 45 | < 30 | < 17 | – |
| | høst | 29 ± 7 | 29 ± 9 | 16 ± 4 | < 7 |
| 14 | vår | < 8 | < 3 | < 3 | < 4 |
| | høst | 7 ± 3 | < 7 | 14 ± 4 | < 3 |

## 3.8 Vegetasjon

Innholdet av menneskeskapt radioaktivitet i vegetasjon (tabell 16) var på samme nivå som i 1996. Innholdet av $^{239}$Pu i lav er høyere enn for annen vegetasjon, og ligger noe høyere enn det intervallet som ble oppgitt for vegetasjon i rapporten fra 1998 (0,02-0,14 Bq/kg). Det ble ikke foretatt plutoniumsanalyse av lav den gangen. Det er ikke signifikante forskjeller i innholdet av $^{137}$Cs mellom område A og B, eller mellom prøver tatt vår og høst, slik tilfelle var for prøvene som ble samlet inn i 1996 (høyest aktivitet i område B, og i prøver samlet inn på våren).

*Tabell 16: Innhold av $^{137}$Cs, $^{90}$Sr og $^{239/240}$Pu i vegetasjon fra områdene A og B (jfr. figur 1). Resultatene for $^{90}$Sr og $^{239/240}$Pu gjelder analyser hvor prøver fra områdene A og B og vår og høst ble slått sammen til en prøve for hver art/prøvetype. Alle verdier er gitt som Bq/kg tørrvekt. "–" angir manglende prøver. "†" angir analyser hvor sopp fra område A og B ble slått sammen til én prøve før analyse. "‡" angir analyser hvor alt soppmateriale ble slått sammen til én prøve før analyse.*

| **Art/prøvetype** | **$^{137}$Cs, område A** | | **$^{137}$Cs, område B** | | **$^{90}$Sr** | **$^{239/240}$Pu** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Vår** | **Høst** | **Vår** | **Høst** | | |
| Myrull | 122 ± 15 | 65 ± 9 | 41 ± 5 | 65 ± 8 | 3,8 ± 0,5 | 0,018 ± 0,006 |
| Blåbærlyng | 192 ± 22 | 160 ± 18 | 234 ± 27 | 151 ± 17 | 36 ± 4 | 0,005 ± 0,003 |
| Blåbær | – | 141 ± 16 | – | 152 ± 16 | 11 ± 1,3 | < 0,007 |
| Lav | 251 ± 29 | 177 ± 20 | 175 ± 21 | 102 ± 12 | 5,5 ± 0,6 | 0,26 ± 0,04 |
| Furuskudd | 53 ± 7 | 97 ± 11 | 213 ± 27 | 92 ± 11 | 7,0 ± 0,8 | 0,010 ± 0,003 |
| Bjørkeblad | 72 ± 8 | 130 ± 15 | 74 ± 10 | 87 ± 10 | 40 ± 5 | < 0,010 |
| Kantarell | – | | – | 450 ± 50† | | – |
| Risker/kremler | – | | – | 2500 ± 280† | | – |
| Franskbrødsopp | – | | – | 163 ± 18† | | |
| Div. matsopp | – | | – | 2310 ± 260† | 2,9 ± 0.4‡ | 0.27 ± 0.08‡ |

Vegetasjonsprøvene fra vår og høst og fra område A og B ble slått sammen før uttak til analyse av $^{90}$Sr og $^{239,\,240}$Pu. Dette ble gjort av analysetekniske grunner for å sikre nok materiale til deteksjon av disse nuklidene.

Innholdet av naturlig radioaktivitet i vegetasjon fra Himdalen (tabell 17) var på samme nivå som i 1996.

*Tabell 17: Innhold av naturlig radioaktivitet i vegetasjonsprøver fra område A og B (jfr. figur 1). Prøvene er målt etter innstilt radioaktiv likevekt, og verdiene for $^{214}$Pb representerer derfor aktiviteten i den radioaktive kjeden fra $^{226}$Ra til $^{210}$Po i $^{238}$U-serien. Alle verdier er gitt som Bq/kg tørrvekt. "–" angir manglende prøver. "†" angir målinger der alt prøvematerialet fra område A og B ble slått sammen for analyse.*

| **Art/prøvetype** | **$^{214}$Pb, område A** | | **$^{214}$Pb, område B** | |
|---|---|---|---|---|
| | **Vår** | **Høst** | **Vår** | **Høst** |
| Myrull | < 5 | < 8 | < 4 | < 7 |
| Blåbærlyng | 6,5 ± 1,0 | 23 ± 4 | < 6 | 13,0 ± 2,5 |
| Blåbær | – | 2,4 ± 0,7 | – | < 0,6 |
| Lav | < 2 | 3,6 ± 0,4 | < 4 | < 5 |
| Furuskudd | < 3 | < 4 | < 9 | < 4 |
| Bjørkeblad | < 5 | < 3 | < 9 | 11,7 ± 2,4 |
| Kantarell | – | | – | < 4† |
| Risker/kremler | – | | – | < 4† |
| Franskbrødsopp | – | | – | < 2† |
| Div. matsopp | – | | – | < 8† |

## 3.9 Fisk og vilt

Innholdet av menneskeskapt radioaktivitet i fisk (tabell 18) var på samme nivå som i 1996. Konsentrasjonen av $^{90}$Sr i melk fra Bjørkefløtten gård er på samme nivå som i 1996, og sammenlignbar med nivået for melkeprøver fra gårder i Skedsmo kommune (ukentlig innsamling i forbindelse med overvåkingsprogrammet for IFE-Kjeller). I elgkjøtt og knokler ble det funnet vesentlig høyere konsentrasjonen av $^{137}$Cs enn i 1996. I en undersøkelse foretatt av Statens næringsmiddeltilsyn i 1998 (Statens næringsmiddeltilsyn, 2000) varierte konsentrasjonen av $^{137}$Cs i viltkjøtt (hovedsakelig elg) solgt i matvarebutikkene fra 0-2000 Bq/kg, med en gjennomsnittsverdi på 110 Bq/kg. Det er ikke angitt om verdiene gjelder for ferskt eller tørket kjøtt, men ut fra sammenhengen kan det antas at verdiene gjelder som Bq/kg ferskvekt. Verdier beregnet som Bq/kg tørrkvekt vil ligge omtrent en faktor 4 høyere ut fra forholdet mellom ferskvekt og tørrvekt i vår undersøkelse. Konsentrasjonen som ble målt for $^{137}$Cs i kjøtt fra elg skutt Himdalen i 2002 var derfor ikke spesielt høy i forhold til hva som kan forventes for elgkjøtt. Det ble funnet betydelig høyere verdier for $^{90}$Sr i knokler enn i kjøtt fra elg. Dette var forventet da det er vel kjent at strontium oppkonsentreres i beinvev.

*Tabell 18: Innhold av $^{137}Cs$, $^{90}Sr$ og $^{239/240}Pu$ i prøver av elg, hel fisk og kumelk fra Himdalen (jfr. figur 1). Alle verdier unntatt for kumelk er gitt som Bq/kg tørrvekt. Verdien for kumelk er gitt som Bq/liter. "–" angir ikke analysert.*

| Prøvetype | Sted | $^{137}Cs$ | $^{90}Sr$ | $^{239/240}Pu$ |
|---|---|---|---|---|
| Abbor | Dalatjern | 246 ± 29 | 81 ± 10 | < 0,03 |
| Abbor | Vinlandstjern | 280 ± 30 | 67 ± 8 | < 0,04 |
| Gjedde | Dalatjern | 350 ± 40 | 49 ± 6 | < 0,03 |
| Gjedde | Vinlandstjern | 128 ± 14 | 44 ± 5 | < 0,02 |
| Kumelk | Bjørkefløtten gård | < 0,11 | 0,065 ± 0,008 | – |
| Elg-kjøtt | Himdalen | 181 ± 20 | 0,96 ± 0,11 | < 0,007 |
| Elg-knokler | Himdalen | 45 ± 5 | 117 ± 14 | < 0,06 |

# 4 Konklusjoner

Nivåene av både menneskeskapt og naturlig radioaktivitet i Himdalen etter 5 års drift av KLDRA Himdalen var på samme nivå som under kartleggingen foretatt før åpningen av anlegget. Det er derfor ingenting i denne undersøkelsen som tyder på lekkasje fra anlegget til omgivelsene. Konsentrasjonen av menneskeskapte radionuklider var i alle vannprøver lavere enn de foreslåtte aksjonsgrensene (0,2 Bq/liter for $^{137}Cs$ og 0,08 Bq/liter for $^{90}Sr$) gitt i IFEs sikkerhetsrapport for drift av deponiet i Himdalen. Aksjonsgrensene er satt slik at dosen til enkeltindivider fra vannkonsum ikke skal overskride en mikrosievert i året. Så lenge dreneringssystemene i anlegget fungerer etter hensikten skal det heller ikke være mulig for inntrengende vann å komme i kontakt med det radioaktive avfallet, og det vil dermed heller ikke være utslipp av radioaktivitet fra anlegget. Dreneringsvann fra sarkofagene og hallene der avfallet er plassert samles opp i kummer inne i anlegget, og kontrolleres for innhold av radioaktivitet før det slippes ut.

I denne undersøkelsen ble i hovedsak programmet fra forhåndskartleggingen gjentatt. Dette programmet ble først og fremst designet for å kunne etablere et bakgrunnsnivå i området. Prøvestedene er derved ikke nødvendigvis optimale i forhold til overvåkning av en eventuell lekkasje fra anlegget. Før det foretas en ny stor radiologisk kontroll anbefales det at det foretas en gjennomgang av programmet for å optimalisere dette med tanke på relevante prøvesteder.

# 5 Referanser

IFE, 1997. Drift av kombinert deponi og lager for lav- og middels radioaktivt avfall i Himdalen. Sikkerhetsrapport. Institutt for energiteknikk. Kjeller 11. juni 1997. s 96-97.

McGee, E. J. et. al., 1995. The variability in fallout content of soil and plants and the design of optimum field sampling strategies. Health Physics **65** (3). S 320-327

Nystuen, Lise et. al, 2003. Kontroll av radioaktive stoffer i utslipp til luft og vann og i prøveobjekter fra IFE Kjeller omegn, Nitelva og Himdalen. Rapport for 2002. IFE/I-2003/016.

Statens næringsmiddeltilsyn, 2000. Radioaktivitet i næringsmidler, fisk og beitedyr 1996 – 1998. SNT-rapport 4, 2000. s 41

Varskog, Per og Bergan, Tone, 1998. Radiologisk kartlegging i Himdalen. Etablering av bakgrunnsnivå – resultater fra målinger før åpningen av KLDRA. IFE/KR/E-98/008. Kjeller 1997.

Varskog, Per et. al., 1994. Mobility and plant availability of radioactive Cs in natural soil in relation to stable Cs, other alkali elements and soil fertility. Journal of Environmental radioactivity **22** (1). S 43-53