

|                              |                          |                                |              |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------|
| <b>Tittel</b>                | : HBWR-SAR-12 Strålevern |                                |              |
| <b>IFE-nr.</b>               | : HBWR-SAR-12            | <b>DOCUS-ID</b>                | :            |
| <b>Utgitt dato</b>           | : 10.12.2019             | <b>Antall vedlegg</b>          | : 0          |
| <b>Forfatter</b>             | : [REDACTED]             | <b>Klassifisering</b>          | : [REDACTED] |
| <b>Godkjenner av innhold</b> | : [REDACTED]             | <b>Godkjenner/-Autoriserer</b> | : [REDACTED] |

Signaturer: Se siste side.

## Sikkerhetsrapport

### Halden Boiling Water Reactor (HBWR)

#### HBWR-SAR-12 – Strålevern

#### Endringslogg:

|                    |                                                                                           |             |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| LAM                | Endringslogg i «Kvalitetskontroll for revidering av HBWR-SAR-12 Strålevern-desember-2019» | 10.12.2019  |
| LAM                | Endringslogg i «Kvalitetskontroll for revidering av HBWR-SAR-12 Strålevern»               | 28.08.2019  |
| <b>Revidert av</b> | <b>Endringer</b>                                                                          | <b>Dato</b> |

|                 |                  |                                                                                        |               |
|-----------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| DOCUS-ID: 14625 | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: <span style="background-color: black; color: black;">[REDACTED]</span> | Side 2 av 110 |
|-----------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|

## Innholdsfortegnelse:

|          |                                                                          |          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Innledning .....</b>                                                  | <b>7</b> |
| <b>2</b> | <b>Strålevernsprogrammet ved HBWR .....</b>                              | <b>7</b> |
| 2.1      | Rammer for strålelivet .....                                             | 8        |
| 2.1.1    | Prinsipper .....                                                         | 8        |
| 2.1.2    | Dosegrenser og referanseverdier .....                                    | 8        |
| 2.1.3    | Strålevernsprogram .....                                                 | 9        |
| 2.2      | Avdeling for Strålevern, fysikk og kjemi .....                           | 10       |
| 2.3      | Strålevern laboratorier og instrumenter .....                            | 11       |
| 2.3.1    | Laboratorier .....                                                       | 11       |
| 2.3.2    | Stasjoner for kontroll og dekontaminering .....                          | 12       |
| 2.3.3    | Håndinstrumenter for luft, strålings- og kontamineringskontroll .....    | 12       |
| 2.3.4    | Persondosimeter .....                                                    | 13       |
| 2.3.5    | Kalibrering av instrumenter for stråling og kontamineringskontroll ..... | 13       |
| 2.3.6    | Verneutstyr .....                                                        | 14       |
| 2.4      | Prosedyrer og opplæring .....                                            | 14       |
| 2.4.1    | Kartlegging av kontrollert område .....                                  | 15       |
| 2.4.2    | Adgang til kontrollerte områder .....                                    | 15       |
| 2.4.3    | Kontamineringskontroll av personell og utstyr .....                      | 16       |
| 2.4.4    | Vedlikehold av verneutstyr .....                                         | 16       |
| 2.4.5    | Behandling og lagring av kilder .....                                    | 16       |
| 2.4.6    | Transport av radioaktivt materiale .....                                 | 16       |
| 2.4.7    | Avfallshåndtering .....                                                  | 17       |
| 2.4.8    | Opplæring .....                                                          | 17       |
| 2.5      | Doser til personell – Målemetoder og prosedyrer .....                    | 18       |
| 2.5.1    | Ekstern eksponering .....                                                | 18       |
| 2.5.2    | Intern eksponering .....                                                 | 19       |
| 2.5.3    | Dosekontroll og analyse av dosedata .....                                | 20       |
| 2.5.4    | Dokumentasjon og rapportering .....                                      | 20       |
| 2.5.5    | Kvalitetsstyringsdokumenter .....                                        | 21       |
| 2.6      | Monitorering og måling av utslipp av radioaktive stoffer .....           | 22       |
| 2.6.1    | Utslipp til luft .....                                                   | 22       |
| 2.6.1.1  | Monitorering av utslipp til luft .....                                   | 22       |
| 2.6.1.2  | Rutiner for måling av utslipp til luft .....                             | 22       |

|            |                                                                                  |           |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.6.1.3    | <i>Kvalitetsstyringsdokumenter</i>                                               | 23        |
| 2.6.2      | Utslipp til vann                                                                 | 23        |
| 2.6.2.1    | <i>Monitorering av utslipp til vann</i>                                          | 23        |
| 2.6.2.2    | <i>Rutiner for måling av utslipp til vann</i>                                    | 24        |
| 2.6.2.3    | <i>Kvalitetsstyringsdokumenter</i>                                               | 25        |
| 2.6.3      | Dokumentasjon og rapportering                                                    | 25        |
| 2.7        | Måling av radioaktivitet i omgivelsene                                           | 26        |
| 2.7.1      | Måleprogram                                                                      | 26        |
| 2.7.2      | Dokumentasjon og rapportering                                                    | 27        |
| 2.8        | Gjennomgang og revisjon av strålevernprogrammet                                  | 27        |
| 2.8.1      | Stråleverndelingens kvalitetssystem                                              | 27        |
| 2.8.2      | IFEs avviksbehandlingssystem                                                     | 27        |
| 2.8.3      | IFEs system for interne kvalitetsrevisjoner                                      | 28        |
| 2.8.4      | Tilsyn av myndigheter                                                            | 28        |
| 2.8.5      | Revisjon av strålevernprogrammet                                                 | 28        |
| <b>3</b>   | <b>Strålekilder på anlegget</b>                                                  | <b>29</b> |
| 3.1        | Reaktorbrensel                                                                   | 29        |
| 3.1.1      | Reaktorkjernen                                                                   | 29        |
| 3.1.2      | Lager for bestrålt brensel                                                       | 30        |
| ██████████ | ████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████ | 34        |
| 3.1.4      | Flask pit                                                                        | 35        |
| 3.2        | Primærkretsen                                                                    | 35        |
| 3.2.1      | Primærkretsvannet                                                                | 35        |
| 3.2.2      | Primærkrets komponenter                                                          | 35        |
| 3.3        | Eksperimentalsystemer                                                            | 37        |
| 3.3.1      | Vannkretser                                                                      | 37        |
| 3.3.2      | Gassystemer                                                                      | 38        |
| 3.4        | Aktivert materiale                                                               | 38        |
| 3.4.1      | Bestrålt materiale i reaktoren                                                   | 38        |
| 3.4.2      | Lagring av aktivert materiale                                                    | 39        |
| 3.4.3      | Skjermkretsen                                                                    | 42        |
| 3.5        | Fast og flytende avfall                                                          | 42        |
| 3.5.1      | Fast avfall                                                                      | 42        |
| 3.5.2      | Systemer for avfallsvann                                                         | 43        |
| 3.6        | Gass og ventilasjon                                                              | 44        |

|           |                  |                                                                                        |               |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span> | Side 4 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|

|          |                                                                                     |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.7      | Kontaminering .....                                                                 | 44        |
| 3.8      | Atmosfære i arbeidsområder .....                                                    | 44        |
| 3.9      | Andre kilder .....                                                                  | 44        |
| <b>4</b> | <b>Anleggs- design og utstyr for strålevern .....</b>                               | <b>45</b> |
| 4.1      | Områdeklassifisering .....                                                          | 45        |
| 4.1.1    | Overvåket område .....                                                              | 45        |
| 4.1.2    | Kontrollerte områder og soneinndeling .....                                         | 45        |
| 4.1.3    | Adgangskrav og kontroll .....                                                       | 46        |
| 4.1.4    | Regler for arbeid på kontrollerte områder og overvåking av arbeidsoperasjoner ..... | 46        |
| 4.1.5    | Transport av radioaktivt materiale mellom kontrollerte områder .....                | 47        |
| 4.2      | Skjerming og beskyttende tiltak .....                                               | 47        |
| 4.2.1    | Reaktor .....                                                                       | 47        |
| 4.2.2    | Lagring av bestrålt brensel .....                                                   | 48        |
| 4.2.3    | Håndtering av brensel og høyaktivt materiale .....                                  | 49        |
| 4.2.4    | Primærkretsen .....                                                                 | 49        |
| 4.2.5    | Eksperimentalsystemer .....                                                         | 51        |
| 4.2.6    | Lagring av aktivert og kontaminert materiale .....                                  | 52        |
| 4.2.7    | Avfall .....                                                                        | 53        |
| 4.2.8    | Andre dosereduserende tiltak .....                                                  | 53        |
| 4.3      | Ventilasjon for strålevern .....                                                    | 54        |
| 4.3.1    | Grunnleggende prinsipper .....                                                      | 54        |
| 4.3.2    | Reaktor inneslutning .....                                                          | 54        |
| 4.3.3    | Fuel Bunker Building (FBB) .....                                                    | 56        |
| 4.3.4    | Metallurgisk Laboratorium (Metlab) .....                                            | 57        |
| 4.3.5    | Eksperimentallaboratorium (Hemsen) .....                                            | 57        |
| 4.4      | Faste monitorer .....                                                               | 58        |
| 4.4.1    | Gammamonitorering .....                                                             | 58        |
| 4.4.2    | Luftmonitorering .....                                                              | 59        |
| 4.4.3    | Vannmonitorering .....                                                              | 60        |
| 4.4.4    | Monitorering ved ulykke .....                                                       | 60        |
| 4.4.5    | Reaksjonstid og metoder for prøvetaking .....                                       | 60        |
| 4.4.6    | Funksjonstest av fastmonterte monitorer .....                                       | 61        |
| <b>5</b> | <b>Behandling av radioaktivt avfall .....</b>                                       | <b>62</b> |
| 5.1      | Behandling av fast avfall .....                                                     | 62        |

|           |                  |                                                                                        |               |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: <span style="background-color: black; color: black;">[REDACTED]</span> | Side 5 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|

|          |                                                                                                   |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.1    | Avfallstyper og nuklidesammensetning .....                                                        | 62        |
| 5.1.2    | Avfallsstrømmer og mengder.....                                                                   | 63        |
| 5.2      | Behandling av flytende avfall .....                                                               | 67        |
| 5.2.1    | Kilder til flytende radioaktivt avfall .....                                                      | 67        |
| 5.2.1.1  | <i>Kontinuerlig utslipp</i> .....                                                                 | 67        |
| 5.2.1.2  | <i>Andre kilder til kontaminert avfallsvann</i> .....                                             | 67        |
| 5.2.2    | Ikke-kontaminert avfallsvann .....                                                                | 69        |
| 5.2.3    | Avfallsstrømmer .....                                                                             | 69        |
| 5.2.4    | Rensesystemer .....                                                                               | 70        |
| 5.2.5    | Systemets kapasitet, redundans og fleksibilitet.....                                              | 70        |
| 5.2.6    | Måling av utslipp .....                                                                           | 71        |
| 5.2.7    | Utslippskontroll .....                                                                            | 72        |
| 5.2.8    | Utslippsmengder .....                                                                             | 72        |
| 5.2.8.1  | <i>Utslipp av plutonium- og americiumisotoper</i> .....                                           | 73        |
| 5.2.8.2  | <i>Utslipp av I-129</i> .....                                                                     | 74        |
| 5.3      | Behandling av avfall i gassform .....                                                             | 74        |
| 5.3.1    | Kilder til avfall i gassform .....                                                                | 74        |
| 5.3.2    | Behandling av gassavfall.....                                                                     | 74        |
| 5.3.2.1  | <i>Behandling av gassavfall fra Reaktorhallen</i> .....                                           | 75        |
| 5.3.2.2  | <i>Behandling av gassavfall fra Fuel bunker building (FBB) og Metallurgisk lab (Metlab)</i> ..... | 76        |
| 5.3.3    | Måling av utslipp .....                                                                           | 76        |
| 5.3.4    | Utslippskontroll .....                                                                            | 77        |
| 5.3.5    | Utslippsmengder .....                                                                             | 77        |
| 5.3.6    | Krav til systemets kapasitet, fleksibilitet og reservesystemer .....                              | 78        |
| 5.3.7    | Behandling av eksplosjonsfarlig gass .....                                                        | 78        |
| <b>6</b> | <b>Stråledoser</b> .....                                                                          | <b>79</b> |
| 6.1      | Allmennhet .....                                                                                  | 79        |
| 6.1.1    | Doser fra utslipp til luft.....                                                                   | 79        |
| 6.1.2    | Doser fra utslipp til vann .....                                                                  | 80        |
| 6.2      | Yrkeseksponering .....                                                                            | 81        |
| 6.2.1    | Doserater på kontrollerte områder.....                                                            | 81        |
| 6.2.2    | Forventede doser fra ekstern stråling.....                                                        | 82        |
| 6.2.3    | Inhalasjonsdoser.....                                                                             | 83        |
| 6.2.4    | Fastsettelse av dosebegrensing.....                                                               | 83        |
| <b>7</b> | <b>Konklusjon</b> .....                                                                           | <b>84</b> |

|           |                  |                                                                                        |               |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: <span style="background-color: black; color: black;">[REDACTED]</span> | Side 6 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|

|           |                                  |            |
|-----------|----------------------------------|------------|
| 7.1       | Konsekvenser for befolkning..... | 84         |
| 7.2       | Konsekvenser for ansatte.....    | 84         |
| 7.3       | Oppsummering.....                | 84         |
| <b>8</b>  | <b>Referanseliste.....</b>       | <b>85</b>  |
| <b>9</b>  | <b>Figurliste.....</b>           | <b>88</b>  |
| <b>10</b> | <b>Figurer.....</b>              | <b>89</b>  |
| <b>11</b> | <b>Signaturer.....</b>           | <b>110</b> |

## 1 Innledning

Denne delen av HBWR-SAR beskriver for normal drift av HBWR:

- a) Strålevernprogrammet ved HBWR, inkludert de målsettinger driftsorganisasjonen har til strålevernet
- b) De ulike strålekildene ved anlegget
- c) Anleggsdesign for radiologisk sikkerhet
- d) Systemer for håndtering av radioaktivt avfall
- e) Stråledoser ved normal drift
- f) Konklusjon på de radiologiske forholdene ved HBWR

De ulike betingelsene for reaktoroperasjon er definert i HBWR-SAR-13 kap 8:

1. Underkritisk kjernelasting (Subcritical Core Load Condition)
2. Reaktor i nedkjørt tilstand (Shutdown Condition)
3. Reaktor i operasjonell tilstand (Operational Condition)
4. Reaktor i driftstilstand (Reactor Working Condition)
5. Nødsituasjon (Emergency Condition)

Siden reaktoren er permanent nedkjørt vil betegnelsen «normal drift» omfatte tilstandene «Underkritisk kjernelasting» og «Reaktor i nedkjørt tilstand».

Estimerte stråledoser av ansatte og allmennhet i tilfelle av ulykker er beskrevet i HBWR-SAR-16 og ulykkesberedskap i HBWR-SAR-20. Håndtering av bestrålt brensel er beskrevet i HBWR-SAR-10.

HBWR-SAR-12 gjenspeiler at reaktoren nå er permanent nedkjørt. Det er likevel valgt å ivareta beskrivelse av systemer som ikke lenger er i bruk fordi det kan være nødvendig å foreta en sikkerhetsvurdering før systemene fjernes.

## 2 Strålevernprogrammet ved HBWR

Overordnet mål for strålevernet ved HBWR er å beskytte ansatte, nærliggende befolkning og miljø for skadelige effekter av ioniserende stråling [1]. Det innebærer følgende:

- a) Kontroll av stråleeksponeringen for ansatte og nærliggende befolkning og kontroll av utslipp av radioaktive stoffer til omgivelsene
- b) Begrensing av sannsynligheten for hendelser som medfører tap av kontroll på radioaktive kilder eller andre kilder til stråling
- c) Begrensing av konsekvenser ved hendelser som kan oppstå

Ovenstående gjelder for hele den gjenstående levetiden til HBWR, som for tiden vil være permanent nedkjørt reaktor, overgangsfase til dekommisjonering, dekommisjonering og til slutt frigivelse av området til allmenn bruk.

|           |                  |                            |               |
|-----------|------------------|----------------------------|---------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 8 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|---------------|

## 2.1 Rammer for strålevernet

### 2.1.1 Prinsipper

Prinsippene for strålevernet ved IFE er beskrevet i administrativt vedtak 052 [2], hvor det blant annet vises til myndighetenes regelverk og internasjonale bestemmelser. Spesielt vil følgende forskrifter være sentrale for strålevernet ved HBWR:

- Forskrift om strålevern og bruk av stråling (Strålevernforskriften) [3]
- Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall (Forskrift om radioaktiv forurensning og avfall) [4]

Med grunnlag i disse prinsippene og retningslinjer fra IAEA [1] er formålet med strålevernet ved HBWR å sikre at:

- drift av HBWR er berettiget når strålevern hensyn tas i betraktning
- stråleeksponering av personell og allmennhet er under de grenser satt av myndighetene og så lave som rimelig mulig
- radiologiske konsekvenser av driftsforstyrrelser og uhell blir begrenset til et minimum

Prinsippet om berettigelse er oppfylt gjennom IFEs konsesjon for drift av HBWR og godkjenning av strålebruk i henhold til Strålevernforskriftens § 5 [3]

Prinsippet om dosebegrensing og ALARA (As Low As Reasonable Achievable) bygger på et fungerende strålevernprogram, noe som blir belyst i de etterfølgende avsnittene.

Tiltak for begrensning av radiologiske konsekvenser ved uhell er beskrevet i HBWR-SAR-16 og HBWR-SAR-20.

### 2.1.2 Dosegrenser og referanseverdier

#### *Yrkeseksponerte*

For personell ved HBWR og innleid personell gjelder følgende dosegrenser pr kalenderår gitt i strålevernforskriftens § 32 [3]:

- Effektiv dose ved bestråling av hele eller deler av kroppen: 20 mSv
- Dose til øyelinse: 20 mSv
- Dose til hud, hender og føtter: 500 mSv

For installasjons- og vedlikeholdspersonellet er det gitt tillatelse av Statens strålevern, nå Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA), til å praktisere de internasjonale dosegrensene anbefalt av ICRP som setter en grense på 50 mSv effektiv dose i ett enkelt år under forutsetning av at dosen i løpet av 5 år ikke overskrider 100 mSv [5].

For gravide gjelder at dosen til fosteret ikke skal overstige 1 mSv etter at graviditet er kjent. Dette praktiseres ved at gravide arbeidstakere ikke skal utføre arbeid som medfører yrkesmessig bestråling og de skal settes til annet arbeid straks graviditet er påvist.

Som et middel i optimalisering og reduksjon av individdosene til personell, benyttes en dosebegrensning (dose constraint) ved planlegging av arbeidsoppgaver. Denne fastsettes ved hver revisjon av strålevernprogrammet, se avsnitt 2.8.5. Metodene for det er beskrevet i avsnitt 6.2.4. Dosebegrensningen er nå 16 mSv i løpet av 12 måneder. Nærmere beskrivelse av bruken av dosebegrensningen er gitt i avsnitt 2.5.3.



|           |                  |                            |               |
|-----------|------------------|----------------------------|---------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 9 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|---------------|

### *Besøkende på kontrollerte områder*

Aldersgrense for besøkende på kontrollerte områder er 18 år.

### *Befolkning*

På grunn av reaktorens beliggenhet inne i fjell og topografien rundt anlegget vil direkte stråling av befolkning være neglisjerbar for all normal virksomhet, og selv ved svært alvorlige ulykker vil doserater fra direkte stråling være lave, se HBWR-SAR-16, vedlegg 4, avsnitt 5.4. Ekstern stråling, inhalasjon og inntak som følge av utslipp av radioaktive stoffer til omgivelsene, er derfor eneste eksponeringsvei for befolkningen som har behov for kontroll.

Institutt for energiteknikk har tillatelse fra DSA til å slippe ut radioaktive stoffer til luft og vann [6]. Denne bygger på en begrensning av effektiv dose til personer i en hypotetisk gruppe mennesker med en antatt levemåte som vil gi de høyeste doser fra utslippet. Begrensning på effektiv dose til enkeltpersoner i denne utsatte gruppen er satt til:

- Fra totalt utslipp til luft: 100  $\mu\text{Sv}/\text{år}$
- Fra utslipp til vann: 1  $\mu\text{Sv}/\text{år}$

I tillegg angir tillatelsen utslippsgrenser for enkelt nuklider. Referanseverdier som benyttes for å sikre at disse begrensninger overholdes og at utslippene er så lave som rimelig mulig, er utledet fra statistikk over utslippet og representerer en dose til utsatt gruppe på 1/10 av begrensningen satt i utslippstillatelsen for det samlede utslipp til henholdsvis luft og vann. Praktisk bruk av disse verdiene er beskrevet i avsnitt 5.3.4 og 5.2.7.

### **2.1.3 Strålevernsprogram**

Strålevernsprogrammet ved HBWR bygger på anbefalinger gitt av IAEA [7][8] og består av følgende:

1. *Klart definerte ansvarsforhold i organisasjonen for den radiologiske sikkerheten*  
Ansvaret for sikkerheten, herunder den radiologiske sikkerheten, og hvordan den er nedfelt i organisasjonen er beskrevet i HBWR-SAR-13
2. *Fysisk innelukkning og adskillelse av strålekilder og stråleutsatte områder fra resten av anleggsområdet*  
For å avgrense områder med forhøyet stråling eller kontaminering er reaktor anlegget delt inn i overvåket og kontrollert område. Kontrollert område er videre delt inn i soner avhengig av kontaminerings- og strålingsnivå. Dette er nærmere beskrevet i avsnitt 4.1.
3. *Regler for ansatte og overvåking av arbeidsoperasjoner*  
Dette er beskrevet i avsnitt 4.1.4.
4. *Radiologisk overvåking av ansatte og arbeidsområdet*  
Den rutinemessige radiologiske overvåkingen av ansatte er beskrevet i avsnitt 2.5. Overvåking av arbeidsområdet med fastmonterte instrumenter er beskrevet i avsnitt 4.4, mens annen strålings- og kontamineringskontroll er beskrevet i avsnitt 2.4.1.
5. *Utslippskontroll og overvåking av omgivelsene*  
Kontrollen med utslipp til omgivelsene er beskrevet i avsnitt 0, mens måling av utslippet er beskrevet i avsnitt 5.2 for utslipp til vann og avsnitt 5.3 for utslipp til luft. Overvåkingen av omgivelsene er beskrevet i avsnitt 0.
6. *Opplæring og trening av ansatte*  
Opplæring av ansatte ved strålevernavdelingen, drifts- og operasjonspersonell samt innleide er beskrevet i avsnitt 2.4.8.
7. *Helseundersøkelse av ansatte*  
Helseundersøkelse av ansatte ved HBWR bygger på § 14-1 i Arbeids- og sosialdepartementets

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 10 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

«Forskrift om organisering, ledelse og medvirkning» [9]. Undersøkelsen utføres av Ringvoll Bedriftshelsetjeneste.

8. *Beredskapsplaner i forbindelse med hendelser og uhell*  
Planer for aksjoner og tiltak i forbindelse med alvorlige hendelser og uhell er beskrevet HBWR-SAR-20. Planer ved mindre hendelser er beskrevet i HBWR-SAR-13.
9. *Et system for dokumentasjon og rapportering av relevant informasjon knyttet til kontroll av stråleeksponering og utslipp*  
For stråleeksponering er dette beskrevet i avsnitt 2.5.4, mens for utslipp er det beskrevet i avsnitt 2.6.3.
10. *Krav til kvalitetssikring og forbedring av prosesser*  
Alle rutiner i strålevernsprogrammet er en del av IFEs kvalitetssikringssystem. Rutinene blir jevnlig gjennomgått, minst en gang årlig, og forbedringer blir vurdert. Videre har IFE et avvikssystem som også gir innspill til forbedring av prosesser. Dette er nærmere beskrevet i avsnitt 2.8.
11. *Periodisk gjennomgang og revisjon av strålevernsprogrammet*  
Alle enkeltelementer i strålevernsprogrammet er beskrevet i prosedyrer og instruksjoner som blir fortløpende oppdatert. Grunnlaget for referanseverdier som angitt i avsnitt 2.1.2 blir, på grunnlag av dose- og utslippsstatistikk, revidert ved hver oppdatering av denne sikkerhetsrapporten.

## 2.2 Avdeling for Strålevern, fysikk og kjemi

Avdeling for Strålevern, fysikk og kjemi ved HBWR er organisert i sektor NUK Halden. Avdelingsleder rapporterer direkte til sektordirektør og er, iht. krav i IAEA SSR 3 [1], uavhengig av Driftsjefen for HBWR. Strålevernssjef i Halden er organisert i sektor Sikkerhet, Kvalitet og Miljø (SKM-sektoren) og er derfor uavhengig av driftsorganisasjonen. Avdelingen består av de tre faggruppene Strålevern, Fysikk og Reaktorkjemi. Organisering og ansvarsforhold ved HBWR er gitt i HBWR-SAR-13, hvor også ansvaret til avdelingsleder og senior stråleverningeniør er beskrevet. Sistnevnte posisjon innehas av faggrupeleder for faggruppe Strålevern. I tillegg består avdelingen av fysikere (master eller høyere), kjemikere og stråleverningeniører. Avdelingens organisering er vist i Figur 1.

Følgende ansvarsområder skal tas vare på av alle stråleverningeniørene:

- Overvåke og veilede under arbeidsoperasjoner som kan gi stråledoser
- Overvåke radioaktivt utslipp fra anlegget til både luft og vann
- Overvåke og følge med strålevernsinstrumentering for å kunne registrere endringer som kan gi informasjon om driftsforstyrrelser
- Kontrollere strålingsbilde og kontamineringsnivå i anleggsområdet og sørge for avsperring og tydelig merking der det anses nødvendig
- Kontrollere avfall som tas ut av kontrollerte områder
- Eskortere transport av radioaktivt materiale og fissilt materiale for å kunne ta vare på strålevern ved et eventuelt uhellstilfelle
- Gjennomgå skriftlig arbeidsordre i faggrupeleders fravær og nedtegne stråleverns råd og krav som stilles til arbeidet
- Gjennomgå lasteprogram i avdelingslederens fravær, etter nærmere gitte retningslinjer
- Delta i avdelingens beredskapsring
- Registrere all bruk av TLDer på anlegget
- Holde avdelingens grønne bøker oppdatert

Andre oppgaver som avdelingen tar vare på og som er fordelt mellom medarbeiderne er:

- Aktivitetsberegning av brukt brensel og bestrålt materiale
- Innhenting og analyse av prøver i forbindelse med miljøovervåkningsprogrammet

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 11 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

- Overvåking av moderator med gammaspektralanalyse
- Analyse av eksperimentalkretsvann for tritium og gammaemittere
- Doseregistrering, -budsjettering og -regnskap
- Prøvetaking og aktivitetsberegning av ionebyttermasse
- Strålevernsoplæring av HBWR personell

En medarbeider på avdelingen har et spesielt ansvar for stråleverninstrumenteringen.

Hovedarbeidsoppgavene til instrumentansvarlig er:

- Daglig oppfølging og vedlikehold av mobile og fastmonterte instrumenter
- Testing og eventuelt kalibrering av mobile og fastmonterte instrumenter etter oppsatt tidsplan
- Planlegging og innkjøp av instrumenter
- Koordinere installasjonsarbeidet av nye instrumenter med andre faggrupper
- Oppsyn/kontroll av mobilt utstyr for luftprøvetaking

## 2.3 Strålevern laboratorier og instrumenter

### 2.3.1 Laboratorier

Fire laboratorier benyttes til bearbeiding av prøver og analyser i tilknytning til strålevernet. I tillegg blir enkelte spesialiserte analyser som måling med ICP-MS utført på kjemilaboratoriene.

I Servicebygget hvor strålevern avdelingen holder til ligger laboratoriet hvor de daglige prøvene fra driften blir behandlet og analysert.

De viktigste instrumentene er:

- 2 stk. betavæskescintillasjonstellere som brukes til måling av tritium og Sr-90
- En alfateller
- Avtrekkskap for inndamping av utslippsvann
- Sentrifuge for preparering før analyse av Sr-90

Laboratorium for gammaspektralanalyser av vannprøver og filtre og for helkroppstillinger av personell ligger i kjelleren på kontorbygget. Instrumenteringen består av:

- 2 stk. 15 % HPGe-detektorer med digital spektrumanalysator
- En NaI-detektor med digital spektrumanalysator for helkroppstilling av personell

Ved driftslaboratoriet til kjemiseksjonen til ROE utfører avdelingen analyse av prøver med høyere aktivitet enn den som er knyttet til driften av anlegget.

- En 15 % HPGe-detektorer med digital spektrumanalysator
- En alfateller
- En foraskingsovn

Laboratoriet som benyttes til analyse av miljøprøver, ligger i et kjellerlokale i IFEs kontorbygg i Os allé 5, ca. 800 m fra reaktoren. Det inneholder:

- 30 % HPGe-detektor med digital spektrumanalysator.
- Fryser for oppbevaring av prøver
- Diverse utstyr til preparering av miljøprøver
- Punktavsug

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 12 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

I tillegg benyttes et rom i kjelleren av Kontorbygget til forasking av filtere brukt til filtrering av vann fra Tista, som en del av miljøprogrammet. Det inneholder:

- En foraskingsovn
- Avtrekksvifte

Kalibrering og funksjonstesting av instrumentene er beskrevet i QA-RPI-097 [10].

### 2.3.2 Stasjoner for kontroll og dekontaminering

På anlegget er det seks stasjoner for kontroll og dekontaminering. Fem benyttes til både kontroll av personell og utstyr, mens en er forbeholdt kontroll av utstyr og avfall.

#### *Fuel Bunker Building (garderobe)*

I garderoben er det plassert en helkropp personmonitor samt en håndholdt kontamineringsmåler for kontroll av utstyr. Her er også håndvasker, dusj og omklede rom. I tilknytning til stasjonen er det et skap med utstyr for dekontaminering av personell. Beskrivelse av dekontamineringsprosedyrer er satt opp på skapet.

#### *Dame- og herregarderobe*

I dame- og herregarderoben for inn- og utpassering fra reaktorhall er det plassert helkropp personmonitoren samt håndholdte kontamineringsmålere for kontroll av utstyr. Her er også vaske- og dusjmuligheter. På stasjonene er det skap med hjelpemidler for dekontaminering og beskrivelse av dekontamineringsprosedyren er oppslått.

#### *Olavshallen*

I Olavshallen er det plassert en hånd- og fotmonitor for gjester som kommer for å se og besøke reaktorhallen og som ikke skal utføre noen form for arbeid der.

#### *Rom for kontamineringskontroll av avfall og utstyr.*

Rommet er plassert i Olavshallen og benyttes til utsjekk av utstyr og avfall fra kontrollerte områder. Det er utstyrt med kontamineringsmåler og doserateinstrument, samt utstyr for dekontaminering.

#### *Kjemi drifts- og analyselaboratorium*

På driftslaboratorium er det plassert en hånd- og fotmonitor for kontamineringskontroll før laboratoriet forlates. Det finnes også to håndholdte kontamineringsmålere og to doserateinstrumenter for kontroll av utstyr og prøver.

### 2.3.3 Håndinstrumenter for luft, strålings- og kontamineringskontroll

Strålevernavdelingen har håndinstrumenter plassert på strategiske steder på anlegget. Instrumentene har fast plass og skal til enhver tid være tilgjengelige. Tabell 1 viser hvor instrumentene er plassert.

Tabell 1 Antall og plassering av håndholdte stråleverninstrumenter

| Sted                       | Gassmonitor | Kontaminerings-måler | Doserate-instrument |
|----------------------------|-------------|----------------------|---------------------|
| Strålevernavdeling         | 2           | 2                    | 5                   |
| Hemsén                     |             |                      | 2                   |
| Olavshall (avfallsrom)     |             | 1                    | 1                   |
| Kjemilab                   |             | 2                    | 2                   |
| Fuel Bunker Building       |             |                      | 1                   |
| Metlab                     | 1           |                      | 1                   |
| Bunker garderobe           |             | 1                    |                     |
| Kontrollrom                |             |                      | 1                   |
| Reaktorhall                | 1           |                      | 2                   |
| Tunnel                     |             |                      | 1                   |
| Transport                  |             | 1                    | 1                   |
| Beredskapsskap i CR        |             | 1                    | 1                   |
| Vaskeri                    |             | 2                    |                     |
| Os Allé 7 (beredskapsskap) |             | 1                    | 1                   |
| Os Verksted                |             | 1                    |                     |

#### 2.3.4 Persondosimeter

Alt personell som arbeider på kontrollerte områder bærer et TLD persondosimeter (termoluminiscense dosimeter). Det mest stråleutsatte personell bærer i tillegg et personlig elektronisk dosimeter (EPD). Utlevering av TLD og EPD foregår på strålevernavdelingen.

##### TLD

Annen hver måned byttes TLD-ene og avleste doser blir lagret fortløpende gjennom året.

##### EPD

Fire leserenheter er plassert ute i anlegget, en i trikken, en i garderoben til bunkeren, en i kontrollrommet og en i resepsjonen. Alle inn- og utlogginger blir fortløpende registrert i en database, i tillegg lagret på en loggfil for hver dag.

#### 2.3.5 Kalibrering av instrumenter for stråling og kontamineringskontroll

Alle instrumenter blir kontrollert og funksjonstestet med faste intervall. Dokument QA-RPI-140 [11] inneholder en oversikt over alle instrumenttyper, oppbevaringssted og kontrollhyppighet. Avdeling strålevern har et verksted for reparasjon og vedlikehold av instrumenter. Enklere reparasjoner samt vedlikehold foretas her. I enkelte tilfeller sendes instrumenter til leverandør for reparasjon og kalibrering.

##### Doserateinstrumenter

Disse blir funksjonstestes på IFE, Kjeller. Kilder som benyttes er oppmålt og kalibrert mot «Secondary Standard» ved DSA. Instrumentet plasseres i gitte avstander fra kilden og avvik mellom instrument og kilde registreres.

##### Kontamineringsmålere og helkroppsmonitorer

Funksjonstestes på stedet med en Beta-kilde. Kilden har en kjent overflateaktivitet og effektiviteten beregnes ut fra dette.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 14 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### *Håndholdte tritiummonitører*

Funksjonstesting utføres ved at et lukket system bestående av en kalibrator kobles til gassmonitoren. Det tilsettes tritiumgass med kjent volum og aktivitet i flere omganger. Utslag avleses på instrument i MBq/m<sup>3</sup>.

#### *Analyseinstrumenter*

Instrumentet blir jevnlig sjekket mot en kjent kilde og energi- og effektivitetskalibrering foretas ved behov.

#### *Persondosimetre*

TLD avleses på avdeling VERN på IFE, Kjeller hver annen måned. EPD er kalibrert fra fabrikk og blir sjekket opp mot TLD resultatene ved hver avlesning og eventuelle avvik blir korrigert. Lydalarm og alarmgrense på EPD'er blir testet årlig.

### 2.3.6 Verneutstyr

Verneutstyr som brukes i de forskjellige områdene på reaktoranlegget er beskrevet i HBWR-SAR-13 vedlegg 2. Krav til verneutstyr utover dette angis i strålevernsgodkjenningen i arbeidsskjemaene, se avsnitt 4.1.4. Type verneutstyr og typisk bruk er vist i Tabell 2.

Verneutstyr for bruk ved evt. uhellshendelser er beskrevet i IFEs beredskapsplan for HBWR, se HBWR-SAR-20.

Tabell 2 Strålevern utstyr ved HBWR

| Type                          | Brukssted / arbeidsoppgave                                                                        | Lagerplass                                                                                                        |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Laboratoriefrakk eller blåtøy | For arbeid på kontrollerte områder, sone 1                                                        | Frakkelager kontorbygg                                                                                            |
| Bomulls kjeledress            | For alt arbeid i sone 2                                                                           | Vaskeriet                                                                                                         |
| Engangs kjeledress med hette  | For besøkende og ekstra beskyttelse ved arbeid i sone 3 eller i andre sterkt kontaminerte områder | Vaskeriet/Skap i gangen                                                                                           |
| Monteringshansker             | Arbeid i sone 2 og 3                                                                              | Vaskeriet                                                                                                         |
| Engangshansker                | Vått arbeid i sone 2 og på laboratorier ved behov                                                 | Vaskeriet                                                                                                         |
| Gummihansker                  | Ved åpning av aktive systemer                                                                     | Vaskeriet                                                                                                         |
| Sko / overtrekksko            | For inntreden til sone 2                                                                          | Skohyller ved barriere, vaskeriet                                                                                 |
| Halvmaske                     | Arbeid i sone 3 eller ved fare for innånding av radioaktivt støv                                  | Personlig verneutstyr                                                                                             |
| Vernemasker                   | Ved påvisning av eller fare for aktivitet i luft (beredskap)                                      | 16 stk. oppholdsrom i RH<br>4 stk. i kontrollrom<br>4 stk. FBB<br>4 stk. i Vaskeriet<br>15 stk. i Beredskapslager |

### 2.4 Prosedyrer og opplæring

Etterfølgende gir en oversikt over alle prosedyrer og instruksjoner som beskriver strålings- og kontamineringskontroll, avfallsbehandling, utklarerer av transporter av radioaktivt materiale og dosekontroll. Prosedyrer i tilknytning til kontroll av doser til personell er gitt i avsnitt 2.5, kontroll av

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 15 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

utslipp av radioaktive stoffer til omgivelsene er gitt i avsnitt 0, mens dokumenter som regulerer miljøprogrammet er listet i avsnitt 0. Alle prosedyrer og instruksjoner er en del av IFEs kvalitetssikringssystem som er nærmere beskrevet i avsnitt 2.8.

#### 2.4.1 Kartlegging av kontrollert område

Følgende beskriver rutine for kontroll og overvåkning av ekstern stråling, kontamineringskontroll og analyser for kontroll av arbeidsluft på kontrollerte områder. Den kontinuerlige overvåkingen med fastmonterte instrumenter og visning på Procsee er beskrevet i avsnitt 4.4.

Følgende rutinekontroller gjennomføres for kontroll av stråling, overflatekontaminering og kontaminering av arbeidsluft:

- Måling av doserater i reaktorhallen på faste punkter i alle arbeidsområder og på en rekke sentrale komponenter, foretas en gang pr. måned. Alle målepunktene er utstyrt med en plakat som angir doseraten
- Kontroll av ekstern stråling på kontrollerte områder utenfor reaktorhall hver 4./8.uke avhengig av område
- Kontroll av overflatekontaminering på kontrollerte områder. Bytting og analyse av filtre for overvåking av arbeidsluften i FBB og metlab (mon 27, 28) hver uke
- Bytting av filter for overvåking av arbeidsluften i reaktorhallen og på eksperimentallaboratoriet (mon 32, 24) hver uke
- Strålingskontroll av overvåket område 1 gang pr. måned

Alle avvikende målinger blir fulgt opp med tiltak for å redusere strålingen eller kontamineringen.

Følgende prosedyrer regulerer strålings-, kontamineringskontrollen og overvåking av arbeidsluften:

- QA-P-915 Kontamineringskontroll av anleggsområdet
- QA-P-922 Strålingskontroll av anleggsområdet
- QA-P-938 MON27 og MON28 filter – gammaspektralanalyse
- QA-P-948 Filterbytte for MON23, MON24 og MON32
- QA-P-965 Strålingskontroll av overvåket område
- QA-RPI-026 Doseratemålinger i reaktorhallen

#### 2.4.2 Adgang til kontrollerte områder

Alle kontrollerte områder er avlåst og tydelig merket. Kun personell med nødvendig strålevernklarering har adgang til områdene.

Personer med nødvendig klarering har adgang til alle kontrollerte områder på anlegget. Kontroll og begrenning av oppholdstid på kontrollerte områder utføres gjennom dosebudsjetteringen og den daglige doseoppfølgingen. Avhengig av dosesituasjonen kan ansatte i perioder bli fratatt adgangen til deler av de kontrollerte områdene.

HBWR-SAR-13, vedlegg 2, regulerer adgangen til kontrollerte områder.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 16 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

### 2.4.3 Kontamineringskontroll av personell og utstyr

Alle personer som har vært inne på kontrollert område sone 2 skal gå gjennom en helkroppss kontamineringsmonitor. Alt utstyr som blir tatt ut fra kontrollert område sone 2 skal sjekkes for kontaminering. Følgende prosedyrer regulerer kontamineringskontrollen av personell og utstyr:

- HBWR-SAR-13, vedlegg 2, Husregler
- QA-P-955, Dekontaminering av personell
- QA-RPI-154, Tilfeldig kontamineringskontroll av områder/gjenstander
- Sv-krav-21, Håndtering av gjenstander fra kontrollerte områder som skal lagres på ikke kontrollerte områder

### 2.4.4 Vedlikehold av verneutstyr

Kontaminerte kjeledresser, vanter, hansker og overtrekksko blir sjekket før vask. Dersom kontamineringsnivået er over grenser angitt i QA-RPI-054 (se nedenfor) blir plaggene kastet. Vernemaskene vaskes etter bruk. Vernemasker til planlagt bruk kontrolleres årlig og vernemasker til beredskap hvert 4. år. Hver gang en filterpatron er brukt noteres dato på filteret. Filter kasseres dersom ett av følgende er oppfylt:

- Påstemplet holdbarhetsdato er overskredet
- Over 6 måneder etter brutt forsegling
- Etter 3. gangs bruk

Prosedyrer som regulerer vedlikehold av verneutstyr er:

QA-RPI-054 Vask av kontaminerte forbruksartikler  
QA-RPI-069 Vaskeriet  
QA-RPI-121 Vedlikehold og kontroll av gassmasker og filter

### 2.4.5 Behandling og lagring av kilder

Strålevernavdelingen har en kildeansvarlig som har ansvar for oppfølging av avdelingens kilderegister. Kilderegisteret inneholder oversikt og beskrivelse av alle kildene ved HBWR og hvor kildene er plassert. All forflytning av kilder skal registreres i kilderegisteret. Radioaktive kilder oppbevares i merkede låste skap/holdere.

Dokumentet som regulerer behandlingen av radioaktive kilder er:

QA-RPI-150 Registrering og oppbevaring av radioaktive kilder

### 2.4.6 Transport av radioaktivt materiale

IFE Halden foretar transport av radioaktive materialer både mellom Halden og Kjeller og til utlandet, i tillegg til forflytning av radioaktivt materiale innenfor reaktoranlegget. Transporter av radioaktivt materiale utenfor anlegget utføres i henhold til instituttets regelverk og ADR.

Klargjøring av en transport utenfor anlegget innebærer blant annet:

- Aktivitetsberegning av forsendelsen
- Kontaminerings- og strålingskontroll av transportbeholder
- Kontroll av doserate på sjåførplassen i transportkjøretøyet



|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 17 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

Følgende prosedyrer regulerer transporten av radioaktivt materiale:

|            |                                                                                           |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| QA-P-814   | Prosedyre for håndtering av brensel ved reaktoranlegget HBWR                              |
| QA-P-848   | Prosedyre for transport av radioaktive materialer                                         |
| QA-P-836   | Prosedyre for utarbeidelse av lasteprogram                                                |
| ROE-P-002  | Prosessbeskrivelse Håndtering og transport av radioaktive materialer ved HBWR             |
| QA-P-916   | Strålevernklarering ved transport av radioaktive materialer                               |
| QA-RPI-057 | Avfallsbeholdere - aktivitetsberegninger og målinger for transport                        |
| Sv-krav-02 | Transport av radioaktivt materiale                                                        |
| AV-065     | Transport av radioaktivt og spaltbart materiale                                           |
| QA-RPI-061 | Bestrålt reaktorbrensel – Beregning av I-131 aktivitet, totalaktivitet og varmeproduksjon |
| QA-RPI-064 | Aktiveringsprogram                                                                        |

#### 2.4.7 Avfallshåndtering

Avfallshåndteringen er nærmere beskrevet i avsnitt 5. Nedenfor er listet opp de prosedyrer som regulerer håndteringen av fast og flytende radioaktivt avfall. Avfall på gassform går etter forsinkelse og rensing til utslipp og prosedyrene for det er listet i avsnitt 2.6.1.3.

|            |                                                                                      |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| QA-P-852   | Prosedyre for håndtering av radavfall ved HBWR                                       |
| ROE-A-025  | Arbeidsbeskrivelse for behandling av avfall i kokille                                |
| ROE-A-039  | Arbeidsbeskrivelse for tømning av ionebyttere på transportbeholdere nr.1 og 2        |
| ROE-A-044  | Arbeidsbeskrivelse for behandling av papiravfall fra kontrollerte områder            |
| ROE-A-045  | Arbeidsbeskrivelse for oppkapping av rør og fylling av stålkasser og kokiller        |
| ROE-A-047  | Arbeidsbeskrivelse for nedstøping av ionebyttermasse med lav aktivitetskonsentrasjon |
| QA-P-928   | Avfallshåndtering                                                                    |
| QA-P-947   | Håndtering av flytende avfall                                                        |
| QA-P-951   | Kontamineringskontroll av ikke aktivt avfall som skal sendes fra anlegget            |
| QA-RPI-035 | Avfallshåndtering                                                                    |
| QA-RPI-057 | Avfallsbeholdere - aktivitetsberegninger og målinger for transport                   |
| QA-RPI-067 | Inndamper – gamma og tritium analyse                                                 |
| QA-RPI-090 | Ionebyttermasse - prøvetaking og analyse for aktivitetsberegning                     |
| QA-RPI-102 | Håndtering av flytende radavfall – lett vann                                         |
| QA-RPI-145 | Håndtering av avfall på strålevern laboratoriet                                      |
| QA-RPI-161 | Vaskeritank, TA68 – tritiumanalyse, gammaspektralanalyse og rens av vaskevann        |
| QA-RPI-177 | Pakking og arbeid med aktivt avfall                                                  |
| Sv-krav-06 | Strålevernsmessige krav til avfallshåndtering                                        |
| Sv-krav-09 | Håndtering av flytende radavfall                                                     |
| Sv-krav-18 | Håndtering av radavfall på analyse- og driftslaboratoriene                           |

#### 2.4.8 Opplæring

##### *Opplæring av ansatte ved strålevernavdelingen*

For nyansatte ved strålevernavdelingen utarbeides det et opplæringsprogram som strekker seg over ett år. Programmet innebærer trening i alle målerutiner og oppfølging på aktive områder som avdelingen ivaretar, inngående kjennskap til alle relevante rutiner og prosedyrer samt den teoretiske bakgrunnen for strålevernsarbeidet. Opplæringsprogrammet avsluttes med eksternt kurs med eksamen i regi av enten Health Protection Agency (HPA) i England eller Nordic Academy for Nuclear Safety and Security (NANSS) i Sverige.

|           |                  |                          |                |
|-----------|------------------|--------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ████████ | Side 18 av 110 |
|-----------|------------------|--------------------------|----------------|

Videre skal avdelingen bygge opp, opprettholde og videreutvikle sin faglige kompetanse ved kurs, litteraturstudier, deltakelse i relevante forskningsprosjekter og andre kompetansegivende aktiviteter.

#### *Strålevernso opplæring av personell som har adgang til kontrollerte områder*

De viktigste elementene i opplæring er:

1. Ved ansettelse: Praktisk kurs i grunnleggende strålevern, inn- og utpassering av kontrollerte og kontaminerte områder og regler på kontrollerte områder. Fullført kurs gir adgang til kontrollerte områder. Nyansatte skal videre være med på første obligatoriske kurs beskrevet i punkt 2.
2. Det gjennomføres strålevern kurs, teoretisk og praktisk. Alle ansatte med adgang til kontrollerte områder skal gjennomgå dette kurset etter et fast opplegg og tidsintervall.
3. Praktisk rettet strålevern kurs tilpasset avdeling/seksjon/gruppe/ansatt sin arbeidssituasjon. Disse kursene utarbeides spesielt, enten på bakgrunn av ønske eller at avdeling for Strålevern, Fysikk og Kjemi har synliggjort et behov.

Dokumentene som regulerer strålevernso opplæring på anlegget er:

|          |                                                                                                            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| QA-P-868 | Prosedyre for generell introduksjon for besøkende som skal besøke eller arbeide ved reaktoranlegget HBWR   |
| QA-P-869 | Prosedyre for generell introduksjon til ansatte/innleide ved IFE som skal arbeide ved reaktoranlegget HBWR |
| QA-P-930 | Opplæringsprogram for nyansatte på strålevern avdelingen                                                   |
| QA-P-953 | Opplæring i strålevern                                                                                     |
| AV-049   | Generelt strålevernreglement ved Institutt for energiteknikk                                               |
| AV-050   | Instruks for strålevertjenesten ved Institutt for energiteknikk                                            |

## **2.5 Doser til personell – Målemetoder og prosedyrer**

Ifølge Strålevern forskriften [3] skal yrkeseksponerte arbeidstakere deles inn i to kategorier. Kategori A er personell som kan utsettes for en effektiv dose over 6 mSv/år og kategori B er yrkeseksponerte som ikke går inn under kategori A personell. I henhold til Strålevern forskriften skal effektiv dose til kategori A personell fastsettes med individuell måling. For kategori B personell kreves en individuell fastsettelse av effektiv dose dersom denne kan overstige 1 mSv/år. Ved Haldenreaktoren er dette løst ved at områder med mulighet for stråleeksponering over 1 mSv/år er definert som kontrollert område, og personer som oppholder seg på disse områder må bære et persondosimeter. Områdene er tydelig avmerket med symbolet for ioniserende stråling og teksten «Ingen adgang uten persondosimeter».

### **2.5.1 Ekstern eksponering**

#### *Effektiv dose fra ekstern stråling*

For fastsettelse av doser fra ekstern eksponering benyttes persondosimetre av typen RadPro TLD (termoluminiscens dosimetri). Kalibrering og avlesning av dosimetrene foretas av dosimetritjenesten på IFE, Kjeller. Dosimetrene er kalibrert til å måle både den individuelle penetrerende dose i 10 mm dybde,  $H_p(10)$ , og overflatedosen i 0,07 mm dybde,  $H_s(0,07)$ . Førstnevnte størrelse er satt lik den effektive dose. Dette er en akseptabel tilnærming med de strålekaliteter en har på reaktoranlegget, og under forutsetning av at den målte dose er representativ for en helkroppseksponering. Alle dosimetrene blir skiftet ut annen hver måned og sendt til avlesning på IFE, Kjeller. Nedre registreringsgrense for persondosimetre er 0,1 mSv.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 19 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

For det mest stråleutsatte personell utføres det i tillegg en kontinuerlig (daglig) overvåking av dosene med elektroniske dosimetre. De er kalibrert ved fabrikk til å vise den effektive dose under forutsetning av at en har å gjøre med en helkroppseksposering.

#### *Doser til hender*

Til måling av doser til hender benyttes IFEs fingerdosimeter bestående av et TL-krystall (MTS-N) plassert i en plastring. Nedre registreringsgrense er 0,1 mSv.

#### *Huddose registrert med TLD*

Hoveddosimeteret er utstyrt med et karbon-LiF TL-dosimeter i vindusposisjon for måling av overflatedosen i 0,07 mm dybde, H<sub>s</sub>(0,07). Den registrerte overflatedose gir et mål på huddosen til den enkelte og benyttes til å kontrollere at dosegrensen på 500 mSv til hud ikke overstiges. Nedre registreringsgrense for huddoser er 1 mSv.

#### *Beregnet huddose fra kontaminering*

Ved fast hudkontaminering blir det foretatt en oppfølging i hvert enkelt tilfelle. Nuklider og størrelse på området som er kontaminert, blir bestemt. Deretter blir antall tellinger registrert for hver dag inntil kontamineringen er borte. Dosen blir beregnet ved hjelp av dosefaktorer hentet fra "Radionuclide and radiation protection data handbook 2002" [12].

#### *Doser til øyelinse*

Fra 1. januar 2018 er dosegrense for øyelinse forandret fra tidligere 150 mSv/år til 20 mSv/år [3]. Det ble gjennomført en sammenlignende studie av dose til øyelinse ved reaktoranlegget i Halden i perioden mars-april 2018 [13]. Basert på resultatene fra denne studien ble følgende rutine innført i 2018 for fastsettelse av dose til øyelinse:

- For generelt arbeid på kontrollert område er det ikke behov for et øyedosimeter. For denne typen arbeid settes dosen til øyelinsen lik den effektive dosen målt som Hp(10) med et persondosimeter båret på framsiden av kroppen
- For alt arbeid hvor det blir gjort tiltak for å skjerme kroppen, men hvor hode og øyne er uskjermet, skal det benyttes øyedosimetre, og dosen til øyelinsen for måleperioden settes til summen av dosen avlest med øyedosimeteret og den effektive dosen

Nedre registreringsgrense for dose til øyelinse med øyedosimeter er 0,1 mSv.

## **2.5.2 Intern eksponering**

#### *Urinanalyser for dosefastsettelse av tritium*

Dose fra inntak av tritium bestemmes fra tritiumkonsentrasjonen i urin. Personell som arbeider i reaktorhallen avgir urinprøver en gang i måneden som analyseres for tritium. Konsentrasjonen måles v.h.a. væskescintillasjon. Når tritiumkonsentrasjonen i urin er kjent, beregnes dosen som følge av inntaket med data fra ICRP [14]. Nedre registreringsgrense for dose fra inntak av tritium er 0,1 mSv.

#### *Helkroppsmålinger for dosefastsettelse fra intern gamma*

Registrering av dose fra opptak av gamma-emittere utføres med helkroppsmåling. Det benyttes en Saint-Gobain 3" x 3" NaI detektor med 7,5 % oppløsning ved 662 keV, styrt med Canberra modell DSA 1000 Genie 2000 Spectroscopy System. Samme detektor benyttes også til måling av opptak av jodisotoper. Det måles da direkte på skjoldbruskkjertelen.

Helkroppsmåling utføres på personer som har vært involvert i spesielle arbeidsoperasjoner/hendelser der det har vært en mulighet for opptak av radionuklider i kroppen, eksempelvis ved luftkontaminering. I tillegg utføres et helkroppsmålingsprogram slik at alle med en

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 20 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

årsdose over 1 mSv blir målt en gang i året. Dersom det er påvist et opptak for en person, blir måleprogrammet utvidet til å omfatte andre personer som har hatt de samme arbeidsoppgavene. Måling av skjoldbruskkjertelen foretas i de tilfellene hvor det er detektert jod i arbeidsluften, for eksempel ved håndtering av rigger med feilet brensel.

Effektive doser fra opptak beregnes fra aktivitetsmålingen med bruk av data fra ICRP [14][15]. Nedre registreringsgrense for dose ved helkroppsmålinger er 0,1 mSv.

### 2.5.3 Dosekontroll og analyse av dosedata

Alle som arbeider i sone 2 på kontrollerte områder har hvert sitt personlige elektroniske dosimeter. Det er definert arbeidskoder for de forskjellige jobbene og kodene brukes ved innlogging i systemet før arbeidet i sone 2 igangsettes. Etter endt arbeid logger man seg ut av systemet, og dosen blir overført til en database. Fra denne databasen hentes det ut doseinformasjon for hver enkelt arbeider og for alle spesifiserte jobber.

Følgende metoder benyttes for å sikre at doser er så lave som rimelig mulig:

- I forkant av større vedlikeholds- og installasjonsarbeider skal det dokumenteres at det planlagte arbeidet kan utføres innenfor gjeldende 12 måneders dosebegrensing til personellet (se avsnitt 2.1.2). Grunnlaget for dette estimatet er påløpt dose siste 12 måneder for hver enkelt av personellet, anslått tidsbruk, doserater i de forskjellige områdene og erfaringer med lignende jobber. Arbeidsoperasjoner med forventet høye doser skal identifiseres og analyseres spesielt, og effekt av forskjellige dosereduserende tiltak skal vurderes.
- Forventet dose til den enkelte fordeles deretter over anslått tid (uker eller dager) for arbeidet og det er en daglig kontroll om arbeidet er i henhold til dosebudsjettet. Avvik fra budsjetterte doser følges opp med undersøkelse av årsak og eventuelt ytterligere tiltak for å redusere dosene.

I perioden etter at reaktoren ble kjørt ned for godt har ansattes doser ligget godt under dosebegrensingen og den er for tiden ikke noe egnet verktøy for dosekontroll. Det er likevel ikke foretatt en revidering av 12 måneders dosebegrensing, siden framtidig dekommisjonering vil endre denne situasjonen. I denne mellomperioden blir derfor alle større arbeidsoperasjoner analysert for seg, eventuelle tiltak identifiseres og det utarbeides et dosebudsjett som følges opp under arbeidet.

### 2.5.4 Dokumentasjon og rapportering

Strålevernavdelingen har hele persondoseregistreringen på et PC-basert system. Annen hver måned blir persondosimetrene avlest på IFE, Kjeller og deretter blir dosene registrert. Strålevernavdelingen har daglig oppfølging av pådratte doser ved hjelp av personlige elektroniske dosimeter. Alle inn- og utlogginger av systemet og dosedata blir lagret i en database. En oversikt over rapporteringsrutinene for doser gis i Tabell 3.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 21 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

Tabell 3 Rapporteringsrutiner for doser

| Frekvens         | Innhold                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Annen hver måned | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Seksjonsvis doserapport med 12 mnd. dose for navngitte personer</li> <li>- Doserapport for alle med 12 mnd. dose over 15 mSv til ledelse ved HBWR</li> <li>- Dosestatistikk for løpende 12 mnd. dose til DSA, ledelse ved HBWR og AMU</li> <li>- Doserapport med 12.mnd. dose for navngitte personer som er registrert til Ringvoll bedriftshelsetjeneste</li> </ul> |
| Kvartalsvis      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dosestatistikk i HMS rapport til IFE's styre</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Halvårlig        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dosestatistikk i statusrapport til Halden Program Group og Halden Board</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Årlig            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Doserapport til DSA</li> <li>- Liste over kategori A personell til HR avd.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                |

### 2.5.5 Kvalitetsstyringsdokumenter

Nedenfor er en liste over dokumentene som regulerer persondosimetri og dosekontroll:

|            |                                                                              |
|------------|------------------------------------------------------------------------------|
| QA-P-814   | Prosedyre for håndtering av brensel ved reaktoranlegget HBWR                 |
| QA-P-836   | Prosedyre for utarbeidelse av lasteprogram                                   |
| ROE-A-038  | Arbeidsbeskrivelse for utfylling og bruk av arbeidsskjema                    |
| QA-P-903   | Urin - yrkeseksponerte - tritiumkonsentrasjon i rutineprøver                 |
| QA-P-911   | Helkroppsmåling av personell                                                 |
| QA-P-924   | TLD - overvåking av persondoser ved reaktoranlegget med personlige TLD       |
| QA-RPI-024 | Utlevering av TLD og EPD                                                     |
| QA-RPI-065 | Dosebudsjettering og regnskap                                                |
| QA-RPI-101 | Doseoppfølging                                                               |
| QA-RPI-124 | Beregning av huddoser                                                        |
| Sv-krav-05 | Bypass av MON11 og MON12 under alt arbeid i reaktorhallen                    |
| Sv-krav-08 | Stråledoser - Grenser knyttet til stråledoser og tiltak for å begrense doser |
| Sv-krav-11 | Lagring av bestrålt brensel                                                  |
| Sv-krav-12 | Bruk av dosimeter ved HBWR                                                   |
| Sv-krav-13 | Oppfølging av innleid og service personell                                   |
| AV-049-2   | Vedlegg 1: Retningslinjer for bruk av persondosimetre og fingerdosimetre     |
| OPN-4      | Regler for håndtering av reaktorbrensel                                      |

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 22 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

## 2.6 Monitorering og måling av utslipp av radioaktive stoffer

I det etterfølgende beskrives overvåkingen og rutinene for måling av utslipp. Det vises til avsnittene 5.2 og 5.3 for nærmere beskrivelse av kilder og målemetoder. Systemene for kontroll og begrensning av utslippene er beskrevet i avsnitt 4.3 og 5.3.4 for utslipp til luft og i 5.2.4 og 5.2.7 for utslipp til vann.

### 2.6.1 Utslipp til luft

Kilder som kan forårsake et utslipp til luft er:

- Ventilering av reaktorhallen (RH)
- Ventilering av analyseskap på eksperimentallaboratorium
- Ventilering av fuel bunker building (FBB)
- Ventilering av kompartementene i metallurgisk laboratorium (metlab)

#### 2.6.1.1 Monitorering av utslipp til luft

- Reaktoren representerer det største potensialet for et utslipp og som konsekvens av dette er ventilasjonsluften fra reaktoranlegget kontinuerlig overvåket med instrumenter som kan utløse utslippsbegrensende aksjoner. Overvåkingen foregår med følgende systemer som alle gir alarm i kontrollrommet ved økt utslipp, se ██████████ og ██████████. Det er installert to gammadetektorer (mon 11, mon 12) på utsiden av ventilasjonskanalen fra reaktoranlegget som, når de registrerer aktivitet over gitte verdier, automatisk stanser viftene (PC1 og PC2) og stenger ventilasjonskanalene, se avsnitt 4.3.2.
- To gassmonitører (mon 19, mon 33) overvåker kontinuerlig luften i ventilasjonskanalen for tritium og Kr-85. Ved behov kan bidraget fra tritium til gassmonitoravlesningen måles ved å absorbere fuktigheten i lufta som passerer gassmonitøren med et silicagelfilter.
- To gammamonitører med henholdsvis papirfilter (mon 14) og kullfilter (mon 23) henter luft fra hovedventilasjonskanal og gir informasjon om partikulær aktivitet i utgående luftstrøm.

Eventuelle utslipp fra FBB og metlab vil i svært begrenset grad kunne inneholde tritium eller annen partikkelbåren aktivitet. Luft som tas fra ventilasjonskanalene, passerer et kullimpregnert filter som kontinuerlig overvåkes av gammamonitører (mon 20 for FBB)

Alle overvåkingsmonitører er knyttet til Procsee og trender og øyeblikksverdier vises på terminaler. Detaljer om systemene og alarmnivåer er gitt i avsnitt 4.4.

#### 2.6.1.2 Rutiner for måling av utslipp til luft

Metodene for måling av utslipp til luft er beskrevet i avsnitt 5.3. I det etterfølgende er rutinene for målingen beskrevet.

##### *Tritium og Kr-85*

3 ganger pr. uke tas en utfrysingsprøve av fuktighet i utgående ventilasjonskanal fra reaktorhallen. Tritiummengden bestemmes ved væskescintillasjonsanalyse, og tritiumkonsentrasjonen i utgående luft beregnes. Sammen med den totale luftmengde som har gått gjennom ventilasjonskanalen kan utslipp av tritium beregnes. Kr-85 og tritium i ventilasjonskanalen fra reaktorhallen overvåkes av to gassmonitører, og signalene lagres hvert minutt i en databank. En gang i uken lastes data ned og integreres. Bidraget fra tritium målt med utfrysingsprøve vil utgjøre et basisnivå på gassmonitørene. Resterende avlesning kommer dermed fra Kr-85.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 23 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

### *Andre utslipp*

I tilfeller med utslipp av tritium eller Kr-85 fra andre kilder, for eksempel avlufting av systemer, måles nuklidefordelingen spesielt og utslippet beregnes ved integrasjon av gassmonitoravlesningen.

### *Partikkelbåren aktivitet*

Målinger på utgående luft fra reaktorhall foretas med en kullpatron, Fi34/Fi32 som benyttes vekselvis og som analyseres en gang i måneden. I tillegg blir patronen analysert umiddelbart etter spesielle episoder. Det er tilsvarende systemer og rutiner for FBB og metlab, henholdsvis Fi 96 og Fi 184. Luft fra utgående ventilasjon fra reaktorhall samles også på papirfiltre som skiftes ukentlig og måles for alfa-aktivitet og gammaemittere (mon 14).

## **2.6.1.3 Kvalitetsstyringsdokumenter**

Dokumentene som regulerer kontrollen av utslipp til luft er:

|            |                                                                     |
|------------|---------------------------------------------------------------------|
| QA-P-900   | VAO (utgående ventilasjonsluft) - tritiumkonsentrasjon              |
| QA-P-909   | MON14 filter- Langlivet alfa-aktivitet                              |
| QA-P-910   | VAO (utgående ventilasjonsluft)                                     |
| QA-P-934   | FBB- utgående filtrert ventilasjonsluft, Fi96                       |
| QA-P-946   | Utgående filtrert luft fra kompartementene i metlab, Fi184          |
| QA-RPI-033 | Beregning av utslipp for rapportering samt rapporteringsrutiner     |
| QA-RPI-055 | VAO - gammaspektralanalyse                                          |
| QA-RPI-073 | Beregning av utslipp til luft av tritium og edelgasser              |
| QA-RPI-113 | Nuklidespesifiserte utslipp for luft og vann på IFEs internettsider |

## **2.6.2 Utslipp til vann**

Utslipet av radioaktive stoffer til vann fra HBWR består først og fremst av tritium, men også av små mengder andre nuklider. Det største bidraget til utslippet er vann som pumpes ut fra fjellhallen. Vannet er svakt kontaminert, hovedsakelig av tritium. Konsentrasjonen av eventuelt andre nuklider er så lav at den normalt ikke er målbar med standard metoder. Andre kilder er vann fra vaskeriet, innsig av grunnvann til avfallstunnel, kjeller i metlab og brønn under FBB, kontrollerte utslipp fra eksperimentalsystemer og forbruksvann fra kjemilaboratoriene. I tillegg benyttes vann til kjøling av prosessutstyr. Vannet tas fra det kommunale nettet og skal være fritt for tilført radioaktivitet når det slippes ut.

### **2.6.2.1 Monitorering av utslipp til vann**

Vannet som pumpes ut fra reaktorhallen, overvåkes kontinuerlig med to NaI-detektorer (mon 9 og mon 10) før vannet kommer til forsinkelsestanken. Dersom monitorene går over en gitt alarmgrense, ledes vannet automatisk til waste pit og kan deretter manuelt styres til delaytank 3 for å bli ført gjennom en rensekrets med filtrering og ionebytting til aktivitetsnivået er akseptabelt for utslipp. Det tas prøve for kontroll av tritiumkonsentrasjonen 3 ganger pr. uke

Alt vann, bortsett fra kjølevann, vann fra de kontaminerte maskinene på vaskeriet og forbruksvann fra kjemilaboratoriene, ledes via en forsinkelsestank til utslipp til elva Tista. Vannet som går ut av tanken blir kontinuerlig overvåket med to NaI-detektorer (mon 4 og mon 5). Dersom de går over en gitt alarmgrense, stenges automatisk ventilen (VB 120) for utgående vann fra tanken. Vannet blir da samlet på delaytankene og ført gjennom en rensekrets med filtrering og ionebytting til aktivitetsnivået er akseptabelt for utslipp. I tillegg tas det prøver hver virkedag, og 3 ganger pr.uke analyseres prøven for tritium og gammaemittere.

|           |                  |                          |                |
|-----------|------------------|--------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ████████ | Side 24 av 110 |
|-----------|------------------|--------------------------|----------------|

Kjølevannet ledes i et eget rør utenom forsinkelsestankene. For å verifisere at vannet ikke inneholder noe tilført aktivitet, overvåkes utgående mengde kontinuerlig for radioaktivitet (mon37). Ved en aktivitetskonsentrasjon i kjølevannet som vil føre til overskridelse av referanseverdiene som oppgitt i avsnitt 2.1.2, vil kjølevannsmengden reduseres til et minimum. Prøve av kjølevannet tas 3 ganger pr. uke og analyseres for tritium og gammaemittere.

Tabell 4 viser en oversikt over andre systemer som overvåkes med vannprøver, hvilke analyser som utføres og hvor ofte prøvene tas. Oversikt over systemer som overvåkes med vannprøver.

Tabell 4 Oversikt over systemer som overvåket med vannprøver

| System                      | Tritium analyse | Gamma analyse | Frekvens                          |
|-----------------------------|-----------------|---------------|-----------------------------------|
| Sekundærvann                | ✓               |               | 3 ganger pr. uke                  |
| Brønn i kjeller i metlab    | ✓               | ✓             | Ukentlig                          |
| Kjemilaboratoriene, TA18/19 | ✓               | ✓             | Ved behov (1-2 ganger pr 14. dag) |
| Brønn i waste rom           | ✓               | ✓             | Kvartalsvis                       |
| Vann fra avfallstunnel      | ✓               | ✓             | Kvartalsvis                       |
| Handling/Storage pond       | ✓               | ✓             | Kvartalsvis                       |
| Fuel pit                    | ✓               | ✓             | Hver 8. uke, eller ved behov      |
| Vaskeriet, TA68             | ✓               | ✓             | Ved behov (1-2 ganger pr 14. dag) |

### 2.6.2.2 Rutiner for måling av utslipp til vann

Metodene for måling av utslipp til vann er beskrevet i avsnitt 5.2. I det etterfølgende er rutinen for målingen beskrevet.

#### *Det kontinuerlige utslipp over delaytank 1*

En liter vann fra delaytank 1 tas daglig og 3 ganger pr. uke analyseres den for gammaemittere og tritium som sammen med flow gjennom delaytanken gir utslipp av tritium til vann.

De daglige prøvene av delaytankvannet dampes inn gjennom en måned. Tørrstoffet analyseres for gammaemittere og resultatet danner grunnlaget for beregning av utslippet av gamma-emitterende nuklider til vann. Tørrstoffet for hvert halvår samles og analyseres for Sr-90 med hjelp av en væskescintillator.

#### *Andre utslipp*

Utslipp fra andre kilder, som utskifting av kjølevann i eksperimentalkretser, avfallsvann fra vaskeriet, forbruksvann fra kjemilaboratoriene og kondensat etter inndamping, blir sluppet ut etter analyse og godkjenning av strålevernavdeling. Vannprøver fra vaskeritanken dampes inn gjennom 6 måneder og analyseres for Sr-90 med hjelp av en væskescintillator.



### 2.6.2.3 Kvalitetsstyringsdokumenter

Nedenfor er angitt dokumentene som regulerer kontrollen av utslipp til vann:

|            |                                                                               |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| QA-P-902   | Delaytank- og sinkvann - tritiumkonsentrasjon                                 |
| QA-P-906   | Delaytankvann -gammaspektralanalyse                                           |
| QA-P-914   | Ekstraordinære utslipp – gamma og tritium analyse                             |
| QA-P-929   | Kjølevann, gammaspektralanalyse                                               |
| QA-P-936   | Gamma- og tritiumanalyse av vann fra brønn i Wasterom                         |
| QA-P-950   | Tunnel - vannprøver fra renner, gamma og tritium analyse                      |
| QA-P-956   | Metlab brønn i kjelleren. Gamma og tritium analyse                            |
| QA-P-958   | Kjemilaboratoriene, TA18 og TA19. Gamma og tritium analyse                    |
| QA-P-962   | Vaskeritank, TA68 – tritiumanalyse, gammaspektralanalyse og rens av vaskevann |
| QA-RPI-012 | Delaytankvann - månedlig gammaspektralanalyse                                 |
| QA-RPI-033 | Beregning av utslipp for rapportering samt rapporteringsrutiner               |
| QA-RPI-113 | Nuklidespesifiserte utslipp for luft og vann til IFE`s internettsider         |
| QA-RPI-118 | Sr-90 analyse -utslipp til vann                                               |
| QA-RPI-139 | Ekstraordinære utslipp fra Delaytank. Gamma og tritium analyse.               |
| QA-RPI-161 | Vaskeritank, TA68 – tritiumanalyse, gammaspektralanalyse og rens av vaskevann |

### 2.6.3 Dokumentasjon og rapportering

Den kontinuerlige overvåkingen av aktivitet i utslipp til luft og vann logges direkte til «Test fuel data bank (TFDB)». Strålevernsmontorene er koblet opp mot ProcSee, et registrerings- og presentasjonssystem. Tabell 5 gir en oversikt over rapporteringsrutinene for utslipp.

Et regnearkprogram beregner utslipp til luft av tritium og Kr-85, radpro/utslipp/luftxxxx (xxxx=år) og partikkelbåren utslipp registreres på regnearket radpro/utslipp/ partikkelbåren\_luftutslipp\_xxxx (xxxx:år). Beregning av utslippet bygger på integrasjon av utslippsmonitoren, MON19 og analyser av kullfilter i ventilasjonskanalen.

Alt utslipp til vann registreres på regnearket radpro/utslipp/vannxxxx (xxxx=år). Måledata fra alle prøver utført av strålevern avdelingen og øvrig relevant bakgrunnsmateriale blir arkivert.

Tabell 5 Rapporteringsrutiner for utslipp

| Frekvens    | Innhold                                                                                                                                                                                       |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kvartalsvis | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Utlegging av utslippstall på IFE internett</li> <li>– Rapport til ledelse ved HBWR</li> <li>– Utslippstall for HMS-rapport til IFEs styre</li> </ul> |
| Halvårlig   | – Bidrag i statusrapport til Halden Program Group og Halden Board                                                                                                                             |
| Årlig       | – Utslippsrapport for luft og vann til DSA                                                                                                                                                    |

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 26 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

## 2.7 Måling av radioaktivitet i omgivelsene

Formålene med miljøovervåkningsprogrammet er:

- Kontroll av modellberegninger av stråledoser til utsatt gruppe fra utslipp av radionuklider fra drift av HBWR. Dette gjenspeiles i en rekke prøver som tas, siden disse er knyttet til de forutsatte eksponeringsveier
- Overvåking av radiologiske forhold i nærheten av utslippspunkter
- Generell kartlegging av de radiologiske forhold i miljøet rundt reaktoranlegget

Programmet omfatter prøver av strandsand og fisk fra Iddefjorden, gress fra Haldendistriktet, vann- og sedimentprøver fra flere steder i Tista, nedbør fra to oppsamlere i Haldendistriktet, drikkevann og registrering av strålingsnivå i Haldendistriktet. En årsplan for programmet med angivelse av tidspunkter for prøvetaking og analyse blir satt opp i starten av hvert kalenderår.

### 2.7.1 Måleprogram

#### *Områdedosimetre*

Områdedosimetrene er termoluminiscens-dosimetre (TLD) som er utplassert i Halden innenfor en radius på ca. 5 km rundt reaktoranlegget. Dosimetrene er utplassert i tre måneder før de byttes og sendes til IFE Kjeller for avlesning. Områdedosimetrene har primært en beredskapsfunksjon. Ved et eventuelt uhell ved reaktoren, vil de bli brukt til å kartlegge og dokumentere strålingsforhold i Haldendistriktet. I tillegg til dette gir den kvartalsvise avlesningen verdifull informasjon om strålingsforhold under normale omstendigheter.

#### *Nedbør*

To oppsamlingsbeholdere for nedbør er plassert i Haldenreaktorens nærområde. Vannbeholderne byttes to ganger i måneden og den oppsamlede nedbøren måles for tritium ved hjelp av betavæskescintillasjon og for gammaemittere med gammaspektralanalyse.

#### *Drikkevann*

Haldens drikkevannskilde er Femsjøen som ligger ca. 3 km i luftlinje fra reaktoren. Vannet pumpes fra Femsjøen til Lille Ertevann og derfra videre til et reservoar før det fullrenses i byens vannrenseanlegg. Prøvene tas direkte fra springen fire ganger i året og måles for tritium ved hjelp av betavæskescintillasjon og for gammaemittere ved hjelp av gammaspektralanalyse.

#### *Sand fra strender langs Iddefjorden*

De årlige sandprøvene hentes fra fire forskjellige strender langs Iddefjorden. De fire strendenes plassering har begrenset utstrekning og er ikke tilrettelagt for rekreasjon. Strendene er valgt slik at de ligger i nærheten av bebyggelse og i den leden som utslippet går. De to andre ligger utenfor utslippsleden. Sanden som tas inn blir tørket, silt og målt for gammaemittere. Prøvetaking og analysing av sand gjennomføres én gang per år; vår.

#### *Fisk*

Fisken fanges med ruser i Iddefjorden like utenfor utløpet av Tista og lenger ut i fjorden (utenfor Isebakke). Fisken kvernes til en jevn masse og måles i fersk tilstand for gammaemittere. Prøvetaking og analysing av fisk gjennomføres én gang per år; høst.

#### *Gress*

Gressprøver hentes inn to ganger i året; vår og høst. Prøvene hentes fra de to gårdene med melkeproduksjon som ligger nærmest reaktoranlegget. Gresset blir finkvernet og målt for gammaemittere.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 27 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

### *Sediment og vannprøver fra Tista*

Vannprøver og sedimentprøver blir tatt to ganger i året i elva Tista. Utslippsrøret ender i midten av Tista der vannstrømmen er stor og der det ikke foregår sedimentering. Sediment- og vannprøver tas et stykke ovenfor og nedenfor dette punktet for sammenligning.

Vannprøvene blir filtrert gjennom filtre i serie impregnert med kobberferrocyanid. Filtrene blir forasket og målt for gammaemittere. Disse målingene suppleres med sedimentprøver fra flere steder langs Tista. Hverken vannet eller sediment i Tista er en kilde til eksponering av mennesker. Prøvene tas som et ledd i kartleggingen av det generelle radiologiske miljøet i de nærmeste områdene.

## **2.7.2 Dokumentasjon og rapportering**

Dokumentene som regulerer miljøovervåkingen er:

QA-P-923 Overvåking av strålingsnivåer utenfor anleggsområdet med område-TLD

QA-P-907 Nedbør - Drikkevann gammaspektralanalyse og tritium.

QA-P-940 Prøvetaking og analyse av sand fra strender ved Iddefjorden

QA-P-939 Prøvetaking og analyse av fisk fra Iddefjorden

QA-P-944 Prøvetaking og analyse gress fra nærmeste melkeprodusenter til Haldenreaktoren

QA-P-949 Prøvetaking og analyse av sediment fra Tista

QA-P-957 Prøvetaking og analyse av vannprøver fra Tista

Måledata fra alle prøver og øvrig relevant bakgrunnsmateriale blir arkivert. Resultater fra analysene og trender i de radiologiske forholdene rapporteres årlig til Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet.

## **2.8 Gjennomgang og revisjon av strålevernsprogrammet**

Endringer i eksempelvis forskningsprogrammet, reaktor installasjoner, myndighetenes krav med mer krever at det operative strålevernsprogrammet er under kontinuerlig utvikling og forbedring. Ansvar for kvaliteten av strålevernsprogrammet, fra gjennomføring av programmet til resultater og rapportering, påhviler Strålevernavdelingen. Dette tas vare på gjennom blant annet avdelingens kvalitetssystem, IFEs avviksbehandlingssystem og IFEs system for interne kvalitetsrevisjoner.

### **2.8.1 Strålevernavdelingens kvalitetssystem**

Retningslinjer for strålevernavdelingen er beskrevet i kvalitetshåndboken for avdelingen [16].

Instruks- og prosedyreverket oppdateres fortløpende, i takt med endringer i arbeidsrutiner, metoder etc. og identifisering av behov for nye prosedyrer og instruks. I tillegg utføres det en årlig gjennomgang av hele instruks- og prosedyreverket. Avdelingen har en kvalitetssystemkontakt som bistår avdelingslederen i utvikling og vedlikehold av kvalitetssystemet og i motivering til kvalitetssikringsarbeid innen avdelingen.

Erfaringsoverføring er et viktig virkemiddel for å korrigere og forbedre prosesser. For å sikre erfaringsoverføring har avdelingen daglig møter.

### **2.8.2 IFEs avviksbehandlingssystem**

IFEs avviksbehandlingssystem skal støtte den systematiske korrigeringsprosessen i avdelingen, redusere konsekvensene av et avvik samt forebygge andre avvik ved god erfaringsstilbakemelding i organisasjonen.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 28 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

Definering og klassifisering av avvik og prosessen for avviksbehandling er beskrevet i «IFEs Forbedringsarbeids håndbok» [17]. Avvik registreres i avviksbehandlingssystemet med dato, tid, sted for hendelsen og en kort beskrivelse av saken.

Avdelingsleder i avdelingen som eier avviket sørger for at det iverksettes korrigerende tiltak for å redusere konsekvensene av avviket og vurderer om det er andre forebyggende tiltak som kan iverksettes for å hindre andre avvik. Avviket lukkes når de nødvendige tiltak er utført.

### **2.8.3 IFEs system for interne kvalitetsrevisjoner**

Prosesen og krav for gjennomføring av IFEs interne revisjoner er beskrevet i «Sentral prosedyre-Interne revisjoner ved IFE» [18]. Interne revisjoner skal bidra til forbedring av kvalitetsstyring og gi IFEs øverste ledelse effektiv tilgang til informasjon om status på kvalitetsstyring i organisasjonen.

Revisjoner kan begrenses til en enkel avdeling eller omhandle et tema som griper inn på aktiviteter på flere avdelinger. Revisjoner utføres av IFEs egne ansatte med kompetanse på området eller et beslektet område. Med bakgrunn i funn gjort under revisjonen utarbeides det en revisjonsrapport som er grunnlaget for en tiltaksplan med tidsfrister for når tiltakene skal gjennomføres.

### **2.8.4 Tilsyn av myndigheter**

Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) fører tilsyn med den nukleære virksomheten ved Haldenreaktoren, inkludert det operative strålevernsarbeidet. Spesielle aktiviteter blir valgt ut som tema for tilsynsinspeksjoner.

Innholdet i strålevernsprogrammet og resultater rapporteres årlig i form av tre rapporter som omhandler stråledoser, utslipp av radioaktive stoffer og miljøprøver tatt i omgivelsene rundt reaktoren. Stråledoser ved HBWR rapporteres forøvrigt 2. hver måned. Det foreligger også pålegg om varsling til DSA dersom en person får en vesentlig del av en årstdose i en operasjon. Veiledende rapporteringsverdi for vesentlig eksponering, utover normalnivåene, er en tredjedel av dosegrensen dvs. 6 mSv. Det er også et tilsvarende krav om rapportering av uønsket utslipp til omgivelsene som ikke kan relateres til normal virksomhet. Tilsyns- og rapporteringsregimet fungerer dermed som en kvalitetskontroll av strålevernsprogrammet.

### **2.8.5 Revisjon av strålevernsprogrammet**

Strålevernsprogrammet, det vil si dette dokumentet, revideres minst hvert tredje år. I tillegg til oppdateringer av referanser til instruksjoner og prosedyrer, monitorer og andre forandringer av systemer, vil en slik revisjon innebære vurdering av behov for og eventuell fastsettelse av:

- ny dosebegrensning for personell (avsnitt 2.1.2)
- nye referanseverdier for utslipp (avsnitt 2.1.2)
- ny nuklidefordeling for fast avfall (avsnitt 5.1.1)

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 29 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

### 3 Strålekilder på anlegget

For å etablere et vurderingsgrunnlag av de radiologiske forholdene på anlegget er det i det følgende listet opp alle aktuelle strålekilder. Kildenes plassering, form, geometri, nuklidesammensetning og aktivitet er beskrevet der det er relevant.

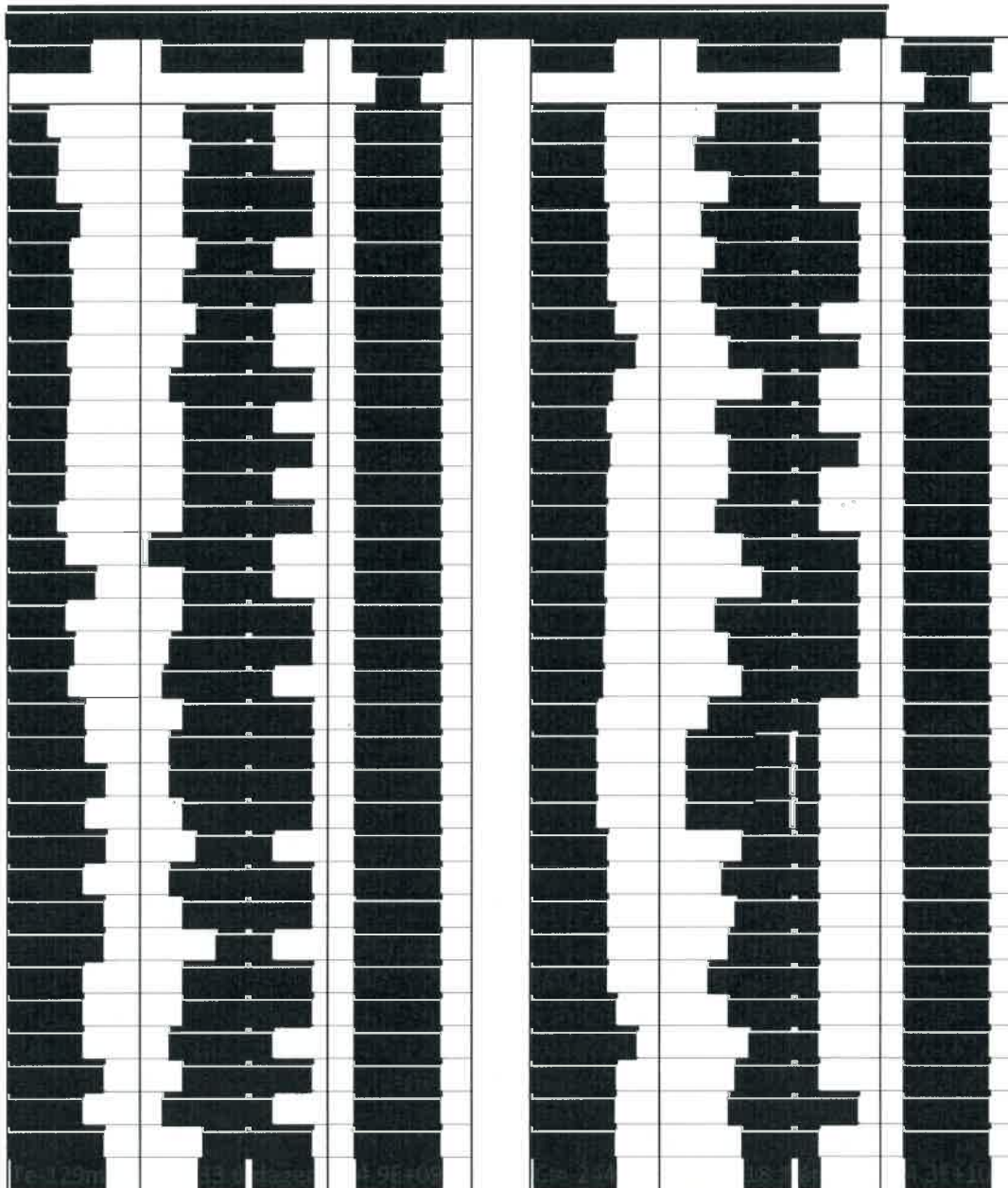
Brensel aktivitetsberegninger er utført med enten ORIGEN 2.2 programvare eller SCALE ORIGEN ARP, fra Oak Ridge National Laboratory (USA) [19][20]. For ORIGEN 2.2 er det, basert på sammenligning mellom resultater fra ORIGEN og HELIOS beregninger [21][22], gjort en tilpasning for HBWR betingelser ved hjelp av andre ORIGEN biblioteker ( $0.45 * BWRUS + 0.55 * CANDUSEU$ ). Beregninger med ORIGEN ARP benytter tverrsnittsbibliotek utviklet med SCALE TRITON for HBWR spike element. Estimer for aktivitetssinnhold basert på ekstern doseratemåling, er gjennomført ved bruk av MicroShield 10.0 fra Grove Engineering [23]. For noen kilder (pumper og ventiler) er det pga. komplisert geometri, ikke gjort forsøk på å estimere aktivitetssinnhold, og i de tilfellene er bare den uskjermede doseraten oppgitt. Alle beregninger er forøvrig detaljert beskrevet i [24].

#### 3.1 Reaktorbrensel

Reaktorbrensel utgjør den potensielt sterkeste strålingskilden på anlegget. Brenselet befinner seg enten i selve reaktoren, lagret i lagringsbassenger i reaktorhall eller i bunker bygningen utenfor hallanlegget. Under håndtering forflyttes brenselet i håndteringsbeholder eller inspiseres i kompartementene. Aktivitetssinnhold og sammensetning av nuklider vil variere avhengig av opprinnelig brenselmengde, effekt og utbrenning, samt desintegrasjon etter bestråling. Reaktoren ble permanent nedkjørt 24.02.18 og korteste kjøletid i beregningene er satt til 554 dager, dvs. pr. 01.09.2019.

##### 3.1.1 Reaktorkjernen





### 3.1.2 Lager for bestrålt brensel

Kjernebrenselet har siden reaktorens oppstart gått gjennom flere, delvis overlappende, utviklingstrinn. Brenselementer av første ladning ble benyttet i perioden fra 1959 til 1962, andre ladning fra 1962 til 1966, tredje ladning fra 1967 til 1987 og fjerde ladning fra 1977 til 1997 [25][26][27][28]. Femte ladning har vært i bruk parallelt med ladning 3 og 4 frem til i dag. I tillegg er det en rekke brenselementer tilpasset FFA og ILS, samt en del eksperimentelt brensel. Inndata for aktivitetsberegningen er hentet fra [25][26][27][28].

[REDACTED]

[REDACTED]

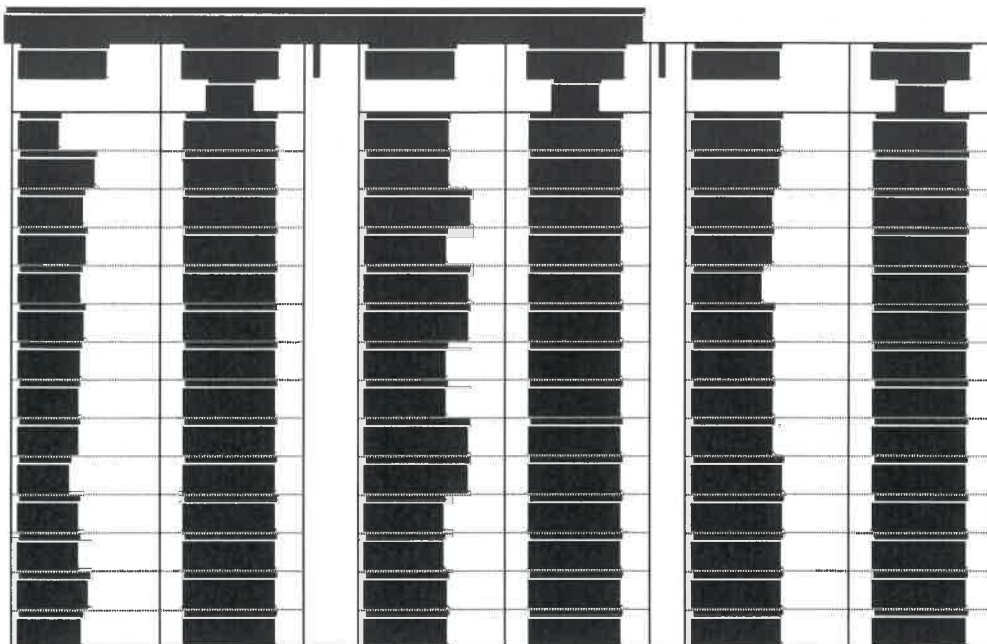












#### 3.1.4 Flask pit

Flask pit befinner seg i Bunker og er 5,2 m dyp. Denne brønnen benyttes til transportflasker ved innlasting eller utlasting, typisk med eksperimentelt brensel eller aktiverte materialprøver. Aktivt innhold varierer med transportforsendelsen.

### 3.2 Primærkretsen

#### 3.2.1 Primærkretsvannet

Reaktorens primærkrets inneholder tungtvann med radioaktivitet, hovedsakelig tritium med en konsentrasjon på 113 MBq/ml. Av andre nuklider er det bare Co-60 og Cs-137 som detekteres med gammaspektralanalyse med aktiviteter på henholdsvis 2 og 0,1 Bq/ml.

#### 3.2.2 Primærkrets komponenter

Komponenter i primærkretsen der aktivitet avsettes har potensial til å bli strålingskilder i reaktorhallens arbeidsmiljø, da spesielt renskretsen med de to primærioneytterne, samt nødkjøletank, underkjøler A, draintank, buffertank, ventiler, varmevekslere og hovedpumpe. Erfaring, bl.a. etter prøvetaking under utskiftning av store deler av primærkretsen i perioden 1998-2007, viser at strålingen først og fremst skyldes fast kontaminering av Co-60, med mindre bidrag fra andre nuklider som Zr-95, Nb-95, Cs-137, Ce-141 og Ce-144. I tillegg ble det målt kortlivede nuklider som Cr-51 og I-131 som ikke lenger er aktuelle ved permanent nedkjørt reaktor.

#### *Tungtvanns renskrets*

Tungtvanns renskrets med varmevekslerne HA4 og HA5 befinner seg i 1. underetasje. Komponentene strekker seg om lag 4 meter i høyden. Rutinemessig målinger av utvendig overflate doserate gir 0,15 mSv/t som resultat. Med antagelse om at doseraten i sin helhet stammer fra Co-60, blir samlet aktivitet i disse komponentene av denne nukliden i størrelsesorden 10 GBq.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 36 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

[REDACTED]

#### *Underkjøler A*

Underkjøler A ligger horisontalt, i nivå med taket over 2. underetasje. Diameter av selve underkjøler A er 75 cm og lengde 300 cm. Rutinemessige målinger viser at overflatedoseraten er i størrelsesorden 0,5 mSv/t. Basert på den utvendige doseraten kan en anslå innhold av Co-60 til å være i størrelsesorden 4 GBq, under forutsetning at doseraten i sin helhet er fra denne nukliden. En kan forøvrig forvente at underkjøleren inneholder lignende kontaminering som for STA og STB, som ble undersøkt med skrapeprøver i 2007 [29][30]. I tillegg til Co-60 ble det da også funnet Co-58, Zr-95, Nb-95, Ru-103, Ru-106, Cs-137, Ce-141 og Ce-144.

#### *Nødkjøletank*

Nødkjøletanken er 320 cm høy og har en diameter på 110 cm. Rutinemessige målinger viser at overflatedoseraten langs de nederste 70 cm, hvor aktiviteten er avsatt, normalt utgjør 1,6-2,0 mSv/t. Høyere opp er doseraten beskjeden, gjerne under 0,1 mSv/t. Aktivitetsmengden av Co-60 er estimert til 2,5 GBq, under antagelse om at all gamma stråling fra nødkjøletanken skyldes denne nukliden.

#### *Draintank*

Draintank er plassert i Sink og tar imot primærvann drenert fra andre systemer. Høyden er 110 cm og diameter 40 cm. Doseraten tett på tanken er normalt rundt 3 mSv/t. Anslått aktivitetsinnhold av Co-60 er 1 GBq.

#### *Buffertank*

Buffertank er plassert på øverste repos i Reaktorhall. Høyden er 160 cm og diameter 40 cm. Doseraten tett på tanken er normalt rundt 3 mSv/t. Dette tilsvarer et aktivitetsinnhold på 1 GBq Co-60.

#### *Ventiler i primærkrets*

Primærkrets inkluderer en rekke ventiler, slik som VA3, VA5, VA6, VA19, VA203, VA397, VA434, VA770, VA771 og VA772. Pga komplisert geometri er det ikke gjort forsøk på å estimere avsatt aktivitet i ventilene. Flere er skjermet og doserate på innsiden av skjermen er gitt i avsnitt 4.2.4.

#### *Andre komponenter i primærkrets (STA, STB, PA1)*

Andre viktige komponenter i primærkretsen er Steam Transformer A (STA) og B (STB) på reaktorhallnivå, samt PA1 i sinken. Rutinemessige målinger på STA og STB viser at doserate tett på normalt er i området 0.05 til 0.1 mSv/t. Tilsvarende er doserate tett på innløpet til PA1 normalt i størrelsesorden 1 mSv/t.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 37 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

### 3.3 Eksperimentalsystemer

#### 3.3.1 Vannkretser

I det videre er presenteres aktivitet og doserater for en rekke komponenter i eksperimentalkretsene. For blant annet ventiler er det som for primærkrets, kun oppgitt utvendige doseratemålinger.

I likhet med primærkretsen er det fast kontaminering av Co-60 som er opphav til det aller vesentligste av utvendig doserate fra komponentene i eksperimentalkretsene. Erfaring fra tidligere dekommisjonering av eksperimentalkretser viser at fast kontaminering av Co-60 er i størrelsesorden 17,5 kBq/cm<sup>2</sup>.

[REDACTED]

#### *Dumpetanker*

Dumpetankene TA2101, TA2102 og TA3003 er sylindriske og står ved siden av hverandre innerst i 2 underetasje. Høyden er 320 cm og diameteren er 30 cm. Indre areal av dumpetankene er ca. 3 m<sup>2</sup>, som medfører at fast kontaminering av Co-60 kan anslås til 0,5 GBq.

Dumpetanken TA6301 i eksperimentalkrets 13 er plassert bak døren i 2 underetasje. Høyden er 160 cm og diameter 30 cm. Helt full er vannvolumet 108 liter. Med indre flate på 1,65 m<sup>2</sup> kan man regne med 0,3 GBq Co-60 i form av fast kontaminering. I tillegg til aktivitet i dumpetanken, er doserate tett på ventil VA6336 under dumpetank TA6301 målt til å være i størrelsesorden 10 til 100 mSv/t. Det er rimelig å anta at doseraten i hovedsak har sitt opphav i Cs-137, hvilket innebærer en estimert aktivitetmengde i ventilen på mellom 0,1 og 1 GBq.

Dumpetank 6501 tilhører krets 14, som har vært lite brukt. Den er plassert på høyre side av reaktorhall ved siden av primærionebrytterne. Doserate tett på overflaten er målt til 0,07 mSv/t, hvilket tyder på et relativt lavt aktivitetssinnhold.

#### *Pumper*

Også pumper, ventiler, varmere og varmevekslere på eksperimentalkretsene kan medføre høyere stråling til omgivelsene. Rutinemålinger av doserate tett på hovedpumpene i en stor krets uten skjerming varierer typisk fra 0,1 til 0,6 mSv/t. Krets 10 skiller seg ut med doserate tett på hovedpumpen i størrelsesorden 0,8-1,0 mSv/t. For de mindre kretsene er doseraten fra hovedpumpene i størrelsesorden 0,01 mSv/t eller lavere.

Pumpen som sirkulerer vannet i rensekretsen i dumpetanksystemet til eksperimentalkrets 13, PA6301, har en doserate på 7 mSv/t.

#### *Rørgate til reaktor*

Eksperimentalkretsene føres til reaktoren i en 0,5 m dyp, 2 m lang og 2,5 m bred brønn. Doseraten i brønnen varierer med aktiviteten i eksperimentalkretsene, men vil normalt være i størrelsesorden 1 mSv/t.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 38 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### *Eksperimentalkrets 4*

Eksperimentalkretsens komponentene HA2402, VA2435 og VA2436 som står samlet i 1. underetasje, har en doserate på 0,5 mSv/t.

#### *Eksperimentalkrets 6*

Eksperimentalkretsens komponentene VA2215, VA2214, VA2272, VA2248, HA2202 og F146 står samlet i 1. underetasje. Målt doserate er 1 mSv/t.

#### *Eksperimentalkrets 9*

Eksperimentalkretsens komponentene He107, He108, T521 og T522 er på reaktorhallnivå, og medfører doserate målt til 1 mSv/t.

#### *Eksperimentalkrets 10*

Eksperimentalkrets 10 med pumpe og varmere er samlet helt innerst til venstre på hallnivå i reaktorhall og er skjermet bak en 5 cm stålskjerm. Doseraten på pumpen er i størrelsesorden 1 mSv/t, mens varmere og ventiler avgir stråling mellom 0,5 til 2,0 mSv/t. Det generelle strålingsbildet er om lag 1,5 mSv/t ved komponentene og rundt 0,2 mSv/t på innsiden av skjermplaten. Doseraten på innsiden av skjermplaten ved pumpen er noe høyere; 0,4 mSv/t.

#### *Andre eksperimentalkretser*

Doserate fra komponenter i eksperimentalkretsene 7, 8, 11, 12, 13, 14 og 15 er generelt lave, fra 0,01 til 0,5 mSv/t. Unntaket er HA5501 i krets 12 med ca. 3 mSv/t.

### **3.3.2 Gassystemer**

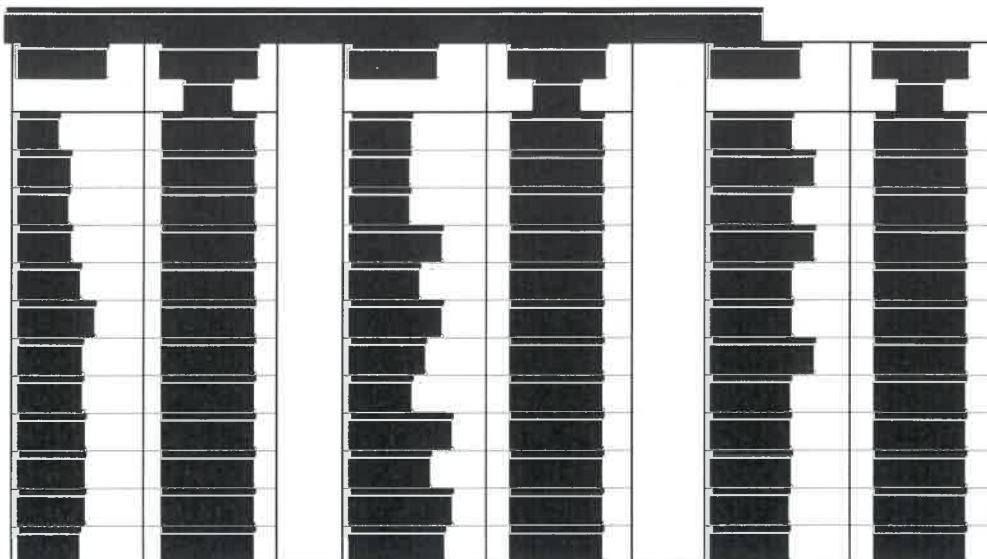
[REDACTED]

## **3.4 Aktivert materiale**

### **3.4.1 Bestrålt materiale i reaktoren**

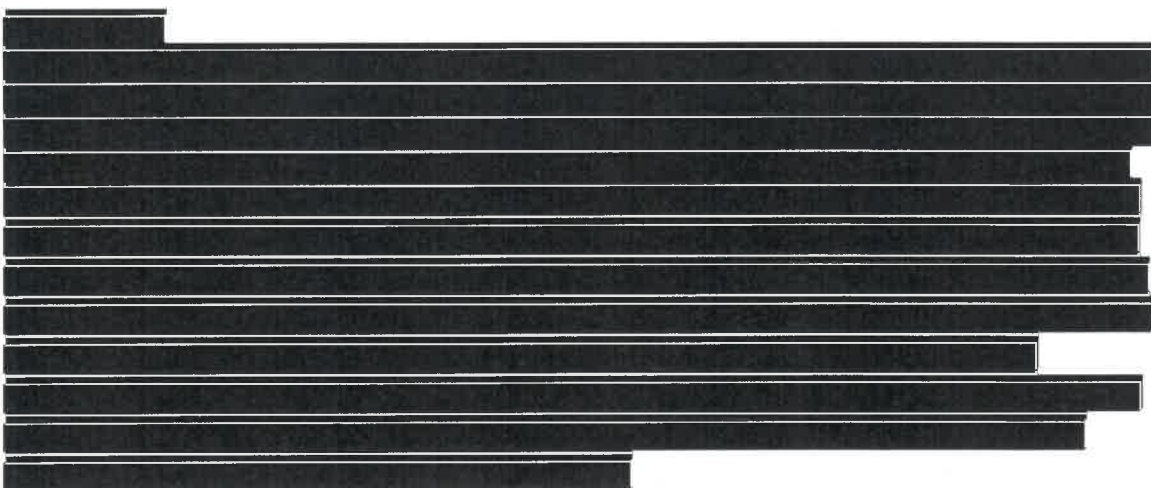
Reaktortanken består av om lag 120 tonn stål. Med hensyn til doserate er Co-60 den dominerende nukliden. Forutsatt en Co vektandel på 0.05 % i stålet og bestråling i totalt 10676 dager fra 1959 til 2018 er aktivering av Co-60 i reaktortanken estimert til 5,5 PBq. Utstyr på innsiden av reaktortanken og i selve kjernen, som brenselrigger, eksperimentalligger og kontrollstaver, medfører også betydelig aktivitet som følge av aktivering [REDACTED]

[REDACTED] Videre er det antatt at bestrålingstiden for rigger og stål i kontrollstaver er 10 år mens for absorbatorene i kontrollstavene forutsettes bestråling som for reaktortanken. Under disse forutsetninger er totalt aktivitetinnhold i reaktortanken estimert, med resultat som gitt i [REDACTED]



### 3.4.2 Lagring av aktivert materiale

Dette avsnittet er ikke oppdatert fra tidligere utgave av SAR. Årsaken er at det planlegges en betydelig mer detaljert oversikt i forbindelse med dekommisjonering av anlegget, samtidig som det ikke har vært vesentlige endringer på beholdningen av lagret, aktivert materiale. Aktivitetsestimater av langlivede nuklider er dermed i størrelsesorden som angitt i avsnittet og det er heller ikke noen vesentlig endring i de angitte doseratene.



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

|            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

### 3.4.3 Skjermkretsen

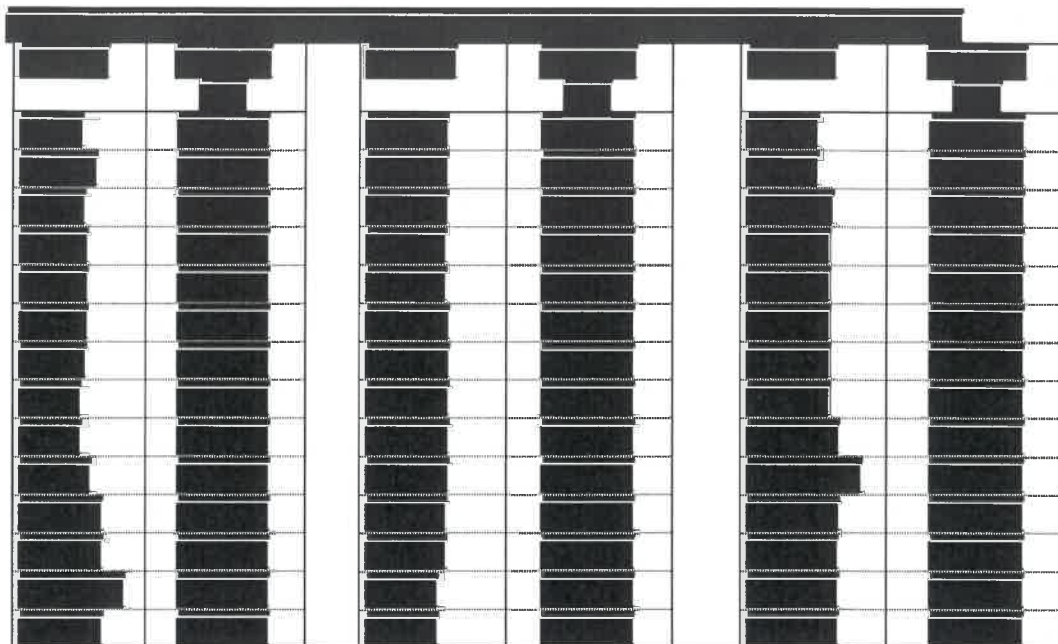
Målinger viser lave verdier av H-3 ca. 15 Bq/ml og Co-60 og Cs-137 i størrelsesorden 0,05 Bq/ml.

## 3.5 Fast og flytende avfall

### 3.5.1 Fast avfall

Grense for doserate på utsiden av søppelspann for aktivt avfall i Reaktorhall og Bunker/Met.Lab er 0.5 mSv/t, hvilket tilsvarer en Co-60 punktkilde på om lag 20 MBq på 10 cm avstand uten skjerming.

Aktivt avfall lagres i tunnelen i påvente av transport ut fra reaktoranlegget. Årlig avfallsmengde som transporteres, oppgitt som transportenheter, er gitt i den årlige rapporteringen til DSA som angitt i utslippstillatelsen [6]. Det maksimale aktivitetsinnhold i lagrede kolli er estimert til 525 GBq [REDACTED]. Avfallet vil for det meste være ferdig pakket, dvs. kokillene, som inneholder den største mengden av aktiviteten, vil være gjenstøpt. Med standard nuklidefordeling se avsnitt 5.1.1, er estimatet av den øvre nuklidespesifikke aktivitetsmengde i tunnelen som gitt i [REDACTED].



### 3.5.2 Systemer for avfallsvann

Wastepit dimensjoner er 3.72x4.7x9.95 m, uten å regne med innfatning. Normalt inneholder waste pit omtrent 45 m<sup>3</sup> vann, men den har kapasitet på 130 m<sup>3</sup>. I en ekstraordinær situasjon kan den inneholde så mye som 165 m<sup>3</sup>. [REDACTED]

Forsinkelsestankene 1, 2 og 3 har hver et maksimalt volum på 10 m<sup>3</sup>. Tank 1 mottar kontinuerlig vann fra sinken, samt vann fra en rekke mindre kilder, se avsnitt 5.2.1. Tritiumkonsentrasjon gjenspeiler som oftest sinken og er i størrelsesorden fra 0,1 til 50 MBq/m<sup>3</sup>. Med tilførsel også fra andre kilder inneholder vannet i tank 1 gjerne noe Co-60 og Cs-137 med aktivitetskonsentrasjoner i størrelsesorden 0,01 MBq/m<sup>3</sup> eller lavere. Forsinkelsestank 2 og 3 står vanligvis tomme og når de er i bruk er aktiviteten helt og holdent avhengig av kilden til vannet.

Det er to forsinkelsestanker à 3600 liter, TA18 og TA19, i Tårnbygget for avfallsvann fra kjemiavdeling. Aktivitetskonsentrasjon av tritium er i størrelsesorden 10 til 200 MBq/m<sup>3</sup>. I enkelte tilfeller inneholder også tanken Co-60 i størrelsesorden 10 kBq/m<sup>3</sup> og Cs-137 i størrelsesorden 1 kBq/m<sup>3</sup>.

Trau i avfallsrommet i Olavshallen inneholder flasker og kanner med aktivt vann for analyse og avfallsklassifisering. I volum dreier det seg om fra 0 til 50 liter vann. Aktivitetsmengder og konsentrasjoner varierer med opphavet.

Inndampingstank har et volum på 215 liter, men i praksis inneholder den aldri mer enn 80 % av kapasiteten. Tankens aktivitetsinnhold varierer svært med bruk og vannets opphav, men i all hovedsak dreier det seg om H-3, Co-60 og Cs-137. Rutinemessige prøver indikerer at tritiumkonsentrasjon varierer fra i størrelsesorden 1 kBq/ml til 1 MBq/ml. Tilsvarende for Co-60 og Cs-137 er fra under deteksjonsgrensen til 1 kBq/ml. I tillegg er det registrert enkelte prøver med Cs-134 i aktivitetskonsentrasjoner opp til 0,1 kBq/ml.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 44 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

### 3.6 Gass og ventilasjon

Storage tank er plassert over inngangstunnelen til Reaktorhall etter garderoben. Under reaktordrift tar Storage tank imot gasser fra rekombineringen for desintegrasjon, før de puffes videre ut i ventilasjonen. Storage tank ble også benyttet tidligere til midlertidig lagring av primærkrets tungtvann. Storage tank volum er 16,3 m<sup>3</sup>.

Rutinemessige målinger viser at doserate foran Storage Tank er i størrelsesorden 0,5 mSv/t og årsaken er kontaminering av Co-60. Overflatedoserate på sidene er i underkant av 0.6 mSv/t, hvilket medfører et aktivitetsinnhold av Co-60 estimert til 6 GBq.

### 3.7 Kontaminering

I sone 2, se avsnitt 4.1.2, holdes kontamineringen under 440 kBq/m<sup>2</sup> totalt, som betyr at 1000 m<sup>2</sup> kan ha en aktivitet i størrelsesorden 440 MBq. Nuklidefordelingen vil være som angitt i avsnitt 5.1.1.

### 3.8 Atmosfære i arbeidsområder

Det er noe tritium i reaktorhall atmosfæren normalt i størrelsesorden 0,1-0,3 MBq/m<sup>3</sup>.

### 3.9 Andre kilder

#### *Fast monterte kilder*

Ved inngangen fra tunnelen til Reaktorhallen er det plassert en industriell Cs-137 kilde for funksjonstest av gamma detektorer. I henhold til kildens dokumentasjon var innholdet 18.5 GBq den 17.02.1976, hvilket medfører at kilden inneholdt 6,8 GBq den 1.9.2019.

I 2.etg. i det Høye rommet er det også plassert en Cs-137 kilde for funksjonstest av elektroniske dosimetre. I henhold til kildens dokumentasjon var innholdet 18.5 GBq den 17.02.1976, hvilket medfører at kilden inneholdt 6,8 GBq den 1.9.2019.

Det er opprettet et kildekartotek med oversikt og beskrivelse av alle kilder ved HBWR og hvor kildene er plassert. Ref. QA-RPI-150 – Registrering og oppbevaring av radioaktive kilder.

## 4 Anleggs- design og utstyr for strålevern

### 4.1 Områdeklassifisering

Følgende klassifisering benyttes for anleggsområdet:

- Overvåket område
- Kontrollert område
- Soneinndeling innenfor kontrollert område

Soneinndelingen innenfor de viktigste kontrollerte områdene er vist i Figur 3.

#### 4.1.1 Overvåket område

Overvåket område er hele anleggsområdet innenfor resepsjonen. Utenfor overvåket område skal doseraten være som for bakgrunn i Halden.

På overvåket område skal en person ikke kunne utsettes for en årtdose som overstiger 1 mSv samt at kontamineringsfaren på det nærmeste kan utelukkes. Som norm skal doserate på overvåket område ikke overstige 7,5  $\mu\text{Sv/t}$ , og doseraten på faste arbeidsplasser skal være tilnærmet bakgrunn.

Tilgang til overvåket område skjer gjennom resepsjonen. Den er bemannet hele døgnet. Regler for innregistrering er gitt i Husreglene, HBWR-SAR-13, vedlegg 2.

#### 4.1.2 Kontrollerte områder og soneinndeling

Områder som kan være kontaminerte eller der det er mulighet for strålingseksponering over 1 mSv/år er klassifisert som kontrollert område. Områdene er angitt i Husreglene, HBWR-SAR-13, vedlegg 2 og inkluderer Olavshallen, delaytankrom, reaktorhall, eksperimentallaboratorium, brenselsbunker, metlab, verksted for kontaminerte gjenstander, avfallstunnelen, vaskeri, kjemilaboratorier og brønrom.

Kontrollert område er delt inn i tre soner, sone 1, 2 og 3. Sone 2 er fysisk adskilt med skobarrierer, mens sone 3 gjelder kompartementene som er helt lukket fra alminnelig ferdsel. Grenseverdier for kontaminering av de forskjellige sonene er vist i Tabell 19. I tillegg skal områder i sone 1 med doserater over 7,5  $\mu\text{Sv/t}$  være tydelig merket. I sone 2 vil doseraten normalt være over 7,5  $\mu\text{Sv/t}$ . Sone 2 områder er reaktorhall, eksperimentallaboratorium, brenselsbunker, metlab og verksted for kontaminerte gjenstander, mens sone 3 er kompartementene i reaktorhall og metlab.

Tabell 19 Grenseverdier for kontamineringsnivå i sonene

|                     | Sone 1<br>(Bq/cm <sup>2</sup> ) | Sone 2<br>(Bq/cm <sup>2</sup> ) | Sone 3<br>(Bq/cm <sup>2</sup> ) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| $\alpha$            | 0,4                             | 4                               | Ingen                           |
| $\beta$ og $\gamma$ | 4                               | 40                              | Ingen                           |

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 46 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### 4.1.3 Adgangskrav og kontroll

Opphold på kontrollert område krever persondosimetri og inngangen til disse områdene er tydelig skiltet med «Kontrollert område. Ingen adgang uten persondosimeter».

[REDACTED] Klareringen forutsetter opplæring og jevnlig repetisjon i generelle instruksjoner angående opphold i og adgang til de forskjellige anleggsområdene, klassifisering av områdene og forholdsregler ved adgang til disse. Andre som gis adgang til disse områder, skal enten følges av en ansatt eller gis nødvendig opplæring. Alle som får adgang til et kontrollert område skal bære en TLD som registrerer hvor mye stråling vedkommende har vært utsatt for. Ansatte som arbeider over tid på kontrollerte områder bærer i tillegg et elektronisk dosimeter (EPD) og strålingseksponering registreres elektronisk.

For sone 2 er det regler for skift av klær og skotøy. Ved arbeid på disse områdene skal det brukes beskyttelseskjør- og sko for å forhindre spredning av kontaminering til området utenfor. Når arbeid innenfor disse sonene medfører ekstra fare for spredning av kontaminering, skal nødvendig tiltak, som oppretting av særskilt barriere og ekstra klesskift, vurderes.

Etter utført arbeid i sone 2 tas beskyttelseskjør og sko av før man krysser en barriere for håndvask og påkledning. Utgangen fra sone 2 områdene er utstyrt med en helkroppskontamineringsmonitor og ingen får forlate området uten først å ha gått gjennom monitoren.

De som oppholder seg over tid på kontrollerte områder, men utenfor sone 2, har ansvar for å utføre kontamineringskontroll av sitt arbeidstøy og sko ved jevne mellomrom. Dette gjelder avfallstunnel, vaskeri, kjemilaboratorier og brønnrommet.

Alle større arbeider i sone 3, inkludert vask og dekontaminering, krever en arbeidsordre der strålevernstiltak er angitt, se avsnitt 4.1.4. Før arbeidet igangsettes blir strålingsnivåer kontrollert av strålevernspersonell. Det er videre krav om bruk av ekstra beskyttelsesutstyr, som engangskjele, engangs overtrekkssko og støvmaske.

#### 4.1.4 Regler for arbeid på kontrollerte områder og overvåking av arbeidsoperasjoner

Generelle regler for arbeid på kontrollerte områder er gitt i Administrativt vedtak 052. Videre er regler for inn- og utpassering av de forskjellige kontrollerte områdene på reaktoranlegget og spesielle regler for arbeid på de kontrollerte områdene gitt i Husreglene, HBWR-SAR-13, vedlegg 2.

Alle arbeidsoppgaver som skal utføres på anlegget blir beskrevet i en arbeidsordre, som blant annet har et felt for strålevernstiltak. Arbeidsordren blir sirkulert og godkjent av alle involverte parter før arbeid kan igangsettes som inkluderer en stråleverns risikovurdering. Denne bygger på data fra bl.a. aktivitetskonsentrasjon i systemer og doserater rundt i anlegget. Ref. QA-RPI-038.

Aktuelle stråleverns krav og tiltak som spesifiseres på arbeidsordren kan være:

- Utstyr for å forhindre kontaminering av arbeidsområdet eller arbeidsluften
- Ekstra skjerming
- Ekstra verneutstyr
- Utsjekk av strålingsforholdene før arbeid igangsettes
- Strålevernskontroll under arbeidsoperasjonen
- Utvidet risikovurdering av jobben i samarbeid med personell som skal utføre jobben

All håndtering av brensel blir beskrevet i et lasteprogram som blir kontrollert og godkjent før utgivelse. Spesielle krav til strålevern utover de som er angitt i prosedyren for brenselhåndtering, blir spesifisert i godkjeningsprosessen. Ved forflytning av brukt reaktor Brensel er det, som angitt i QA-P-814, krav

om overvåking av stråleverningen. Unntak er utskifting av brenselspinner i inspeksjonsrigger i kompartementet under interim- og etterundersøkelser.

#### 4.1.5 Transport av radioaktivt materiale mellom kontrollerte områder

Radioaktive materialer skal som hovedregel ikke oppbevares utenfor områder som er klassifisert som kontrollert. Ved behov for å forflytte radioaktive materialer mellom kontrollerte områder skal transporten utenfor kontrollerte områder skje uten unødvendig opphold og gjenstanden skal være emballert, eksempelvis pakket i plast, for å hindre kontaminering. Dersom det oppstår behov for å oppbevare og eventuelt bearbeide radioaktive materialer utenfor kontrollert område, skal det aktuelle område klassifiseres midlertidig som kontrollert. Området skal da avgrenses og skiltes som kontrollert.

## 4.2 Skjerming og beskyttende tiltak

De etterfølgende avsnitt beskriver den nødvendige skjerming for de forskjellige strålekildene som er identifisert i avsnitt 3. Videre blir forskjellige andre tiltak for å redusere doseraten til personell beskrevet.

Alle skjermingsberegninger er utført i MicroShield 10 programvare [23]. Vanlige skjermingsmaterialer er betong, stål og bly. I dosesammenheng er den dominerende nukliden på anlegget Co-60, og for denne nukliden er det estimert skjermingsfaktorer for de forskjellige materialene, gitt i Tabell 20.

Tabell 20. Effekt av skjerming for gamma doserate fra Co-60, avhengig av materiale og tykkelse

| Material | Tykkelse (cm) | Skjermingsfaktor    |
|----------|---------------|---------------------|
| Betong   | 12.5          | 2.0                 |
| Stål     | 3.6           | 2.0                 |
|          | 5             | 2.9                 |
|          | 7             | 5.1                 |
|          | 10            | 12.7                |
| Bly      | 1.6           | 2.0                 |
|          | 5             | 12.2                |
|          | 10            | 208.2               |
|          | 25            | 1.5·10 <sup>6</sup> |

### 4.2.1 Reaktor

[REDACTED]

[REDACTED]

Samlet doserate 50 cm over roterende skive er da beregnet til i underkant av 1  $\mu\text{Sv}/\text{time}$ . Denne er totalt dominert av aktiviteten i reaktortanklokket. Estimert doserate er konservativ, da det er antatt at aktiviteten i lokket er homogent fordelt. I realiteten er det i bunn av lokket at aktiviteten er høyest, hvilket innebærer en vesentlig underestimert grad av egenskjerming. Bidraget fra reaktorkjernen er i størrelsesorden  $1\text{E}-11$   $\mu\text{Sv}/\text{time}$ . Det største bidraget til doseraten på siden av reaktoren (i underetasjene) er imidlertid reaktorkjernen, men den er svært lav, i størrelsesorden  $1\text{E}-9$   $\mu\text{Sv}/\text{time}$ .

#### 4.2.2 Lagring av bestrålt brensel

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 49 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

[REDACTED]

[REDACTED]

#### 4.2.3 Håndtering av brensel og høyaktivt materiale

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

#### 4.2.4 Primærkretsen

I dette avsnittet beskrives skjerming og beregnede doserater for noen komponenter i primærkretsen.

##### *Tungtvanns renssekrets*

Tungtvanns renssekrets med HA4 og HA5 er helt lukket inne i en 10 cm stålskjerm. I høyde er skjermkassen 4 m, i bredde 0.7 m og i dybde 0.8 m. Basert på utvendig doserate på 0,15 mSv/t er innhold av Co-60 estimert til 10 GBq. Beregnet doserate i 50 cm er 0,06 mSv/time.

[REDACTED]

##### *Underkjøler A*

Rundt underkjøler A er det bygget en skjermingskasse av 5 cm tykke stålplater. Kassen har en lengde på 365 cm, høyde på 100 cm og en bredde på 80 cm. Med utgangspunkt i en overflatedoserate på 0.5 mSv/t, samt antagelsen om at doseraten i sin helhet er forårsaket av Co-60, er doseraten rett på

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 50 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

utsiden av stålskjermen rundt underkjøleren estimert til 0,05 mSv/t og 0,03 mSv/time i 50 cm avstand.

#### *Nødkjøletank*

Overflatedoseraten kombinert med nødkjøletankens dimensjoner medfører høyere doserater i tunnelen mellom indre garderobe og reaktorhallen. Framfor nødkjøletanken, i en avstand av 65 cm, er det derfor plassert en 5 cm tykk stålplate for å skjerme arbeidsområdene. Dimensjonene er 320 cm i bredden og 150 cm i høyden. Med utgangspunkt i en doserate på 1,8 mSv/t innenfor stålplaten, samt en antagelse om at doseraten i sin helhet er forårsaket av Co-60, er doseraten estimert til 0,05 og 0,03 mSv/t henholdsvis rett utenfor og i 50 cm avstand fra stålskjermen.

#### *Drainertank*

Rundt Drainertank, i ca. 8 cm avstand, er det bygget en skjermkasse av 5 cm blyblokker. Med utgangspunkt i en overflatedoserate på tanken på 3,0 mSv/t, samt at det antas at doseraten i sin helhet er fra Co-60, er doseraten rett på utsiden av blyskjermen rundt drainertank estimert til 0,04 mSv/t mens den er 0,01 mSv/time i 50 cm avstand.

#### *Buffertank*

Buffertanken er skjermet med en kasse av 5 cm stålplater. Med utgangspunkt i en overflatedoserate på tanken på 3,0 mSv/t, samt at doseraten i sin helhet er forårsaket av Co-60, er doseraten estimert til 0,4 og 0,1 mSv/t henholdsvis rett på utsiden og i 50 cm avstand fra skjermen. I den forbindelse er det verdt å merke seg at tanken er plassert i god avstand fra vanlige arbeidsområder.

#### *Ventiler i primærkrets*

En rekke ventiler i primærkretsen er skjermet. I Tabell 21 er vist skjermdimensjoner, målt doserate på innsiden av skjermen og et grovt overslag over doseraten på utsiden av skjermen. Sistnevnte er gjort med antagelse om at doseraten på innsiden av skjermen i sin helhet skyldes Co-60 og ved å samle aktiviteten i ett punkt 10 cm innenfor skjermen.

Tabell 21 Oversikt over skjermede ventiler og målte doserater (mSv/t) på innsiden av skjerm og beregnede doserater på overflate og 50cm avstand fra skjerm

| Ventil | Plassering            | Skjerm          | Doserate (mSv/t) |              |               |
|--------|-----------------------|-----------------|------------------|--------------|---------------|
|        |                       |                 | Målt på innsiden | Utsiden 1 cm | Utsiden 50 cm |
| VA3    | Sink                  | 5 cm stålplate  | 1,0              | 0,14         | 0,008         |
| VA5    | 1.u.etasje            | 5 cm stålplate  | 2,0              | 0,3          | 0,02          |
| VA6    | 1.u.etasje            | 5 cm stålplate  | 3,0              | 0,4          | 0,03          |
| VA19   | Sink                  | Ingen skjerming | 0,4              |              |               |
| VA203  | 1.u.etasje            | 5 cm stålplate  | 1,3              | 0,18         | 0,01          |
| VA397  | 2. u.etasje           | Ingen skjerming | 0,5              |              |               |
| VA434  | Sink                  | 5 cm blyblokker | 2,0              | 0,06         | 0,004         |
| VA770  | 2. u.etasje / Repos F | 7 cm stålplate  | 2,5              | 0,15         | 0,01          |
| VA771  | Sink                  | 5 cm blyblokker | 1,5              | 0,05         | 0,003         |
| VA772  | Sink                  | 5 cm blyblokker | 10,0             | 0,3          | 0,02          |

#### *Storage Tank*

Avstand mellom gulvet under Storage tank og tanken er 30 cm, og selve gulvet består av 20 cm betong. Tykkelsen av veggene i Storage Tank er 1 cm stål. Med utgangspunkt i intern kontaminering av Co-60 på 6 GBq, er doserate 50 cm ned fra taket i tunnelen estimert til 0,03 mSv/t. Videre er det vegger av 20 cm betong rundt Storage tank. Avstand fra tanken til veggen mot Reaktorhall er 1,8 m, hvilket medfører en estimert doserate på 0,014 mSv/t 50 cm fra utsiden av veggen.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 51 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### 4.2.5 Eksperimentalsystemer

[REDACTED]

##### *Dumpetanker*

Ytre diameter av dumpetankene TA2101/TA2102/TA3003 er 35 cm, hvorav de ytterste 2 cm er blyskjerm, etterfulgt av 0,5 cm stål og innerst vann. Aktivitetsfordelingen er antatt til 0,6 GBq Co-60. Overflatedoseraten 1 meter over bunn av tanken er da estimert til 0,08 mSv/t mens den er 0,02 mSv/time i 50 cm avstand fra skjermen.

Ytre diameter av dumpetanken er TA6301 er 53 cm, hvorav de ytterste 10 cm er blyskjerm, etterfulgt av 1 cm luft, 0,5 cm stål og til sist et innhold av vann. Med 10 GBq Cs-137 og 0,3 GBq Co-60 er overflatedoseraten estimert til å utgjøre mindre enn 0,001 mSv/t. Ventil VA6336 under dumpetank TA6301 er skjermet med en 5 cm tykk stålplate i om lag 30 cm avstand. Med 1 GBq Cs-137 i ventilen er doserate beregnet til 0,02 mSv/t i 50 cm avstand fra skjermen.

Dumpetanken TA6501, er skjermet med en kasse av 5 cm stålplater. Kassen er 2 m høy, 1 m bred og 0,55 m dyp, samt at den er hevet 1.6 m over reaktorhall gulvet. Innvendig doserate er målt til 0.07 mSv/t, hvilket gir en doserate på utsiden av skjerm i størrelsesorden 0,02 mSv/t.

##### *Rørgate til reaktor*

Stålplater på 10 cm tykkelse fungerer som lokk og strålingskjerm av brønnen som fører eksperimentalkretsene til reaktoren. Med en doserate i størrelsesorden 1 mSv/t og antagelsen om at Co-60 er eneste nuklide, er doseraten 50 cm over stålplaten estimert til 0,005 mSv/t.

##### *Eksperimentalkrets 4*

Eksperimentalkrets komponentene HA2402, VA2435 og VA2436 er skjermet i en kasse bestående av 5 cm stålplater. Lengde er 180 cm, høyde og bredde 65 cm. Med innvendig doserate målt til 0,5 mSv/t, er utvendig doserate estimert til 0,17 mSv/t på overflaten og 0,03 mSv/time i 50 cm avstand.

##### *Eksperimentalkrets 6*

Eksperimentalkrets komponentene VA2215, VA2214, VA2272, VA2248, HA2202 og F146 er skjermet i en kasse bestående av 5 cm stålplater. Lengde er om lag 300 cm, mens høyde og bredde er henholdsvis 65 og 92 cm. Med innvendig doserate målt til 1 mSv/t, er utvendig doserate estimert til 0,35 mSv/t på overflaten av skjermen og 0,07 mSv/time i 50 cm avstand.

##### *Eksperimentalkrets 9*

Eksperimentalkrets komponentene He107, He108, T521 og T522 er skjermet i en kasse bestående av 5 cm stålplater. Lengde er 220 cm, bredde 40 cm og høyde 45 cm. Med innvendig doserate målt til 1 mSv/t, er utvendig doserate estimert til 0,35 mSv/t på overflaten og 0,02 mSv/t i 50 cm avstand.

##### *Eksperimentalkrets 10*

Hovedkomponentene til eksperimentalkrets 10 på reaktorhallnivå er plassert bak en 5 cm tykk, 3 m høy og 2 m bred stålskjerm. Avstand mellom skjerm og pumpe er om lag 0,5 m, mens avstand mellom varmere og skjerm er fra 2 til 3 m. Skjermingsberegning med utgangspunkt i det generelle strålingsbildet gir en doserate på 0,05 mSv/t 50 cm fra utsiden av skjerm.

#### 4.2.6 Lagring av aktivert og kontaminert materiale

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 53 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### 4.2.7 Avfall

##### *Avfallstunnelen*

Fast avfall med det høyeste aktivitetsinnholdet blir støpt ned i kokiller, med 10 cm tykke betongvegger. Det indre volumet måler 60 cm i høyden, 60 cm i bredden og 100 cm i lengden. Dersom en går ut ifra at aktivitetsmengden fra [REDACTED] blir fordelt på fire kokiller, innebærer dette en estimert doserate på 3,5 mSv/t på 0,5 m avstand av en kokille.

##### *Inndamper*

Rutinemessige målinger på utsiden av tanken fra 2016-2019 viser at doseraten tett inntil varierer fra i størrelsesorden 0,1 til 0,4 mSv/t, med et gjennomsnitt på omtrent 0,15 mSv/t. Bunn av tanken har de høyeste doseratene, grunnet et bidrag fra sedimentert aktivitet. Dersom en går ut i fra 80 % fyllingsgrad og at homogent fordelt Co-60 er årsak til en doserate på 0,3 mSv/t ved kontakt, vil doseraten på 50 cm avstand bli knappe 0,05 mSv/t.

#### 4.2.8 Andre dosereduserende tiltak

Andre tiltak for å redusere stråledosen under arbeidsoperasjoner bygger på en reduksjon av tiden som den ansatte må oppholde seg i et strålefelt eller mekanismer for å øke avstanden til strålekilden.

Den viktigste tidsbesparende faktoren for vedlikeholdsoperasjoner er bruk av swagelok-koblinger istedenfor sveising ved sammenkobling av rør som skal tåle høyt trykk. Forøvrig skjer en reduksjon av tid i strålefelt hovedsakelig gjennom planlegging av arbeidsoperasjoner som beskrevet i avsnitt 2.5.3 og 4.1.4.

Det benyttes en rekke tekniske innretninger for å øke avstanden til strålekilder. Foruten lange spesialtenger for håndtering av strålende gjenstander kan nevnes:

- Alt rutinemessig arbeid på reaktoren (brenselhåndtering, vedlikehold av kontrollstasjoner og indre deler av reaktoren, inspeksjon) skjer på roterende skive i en avstand av 3,9 meter fra reaktorlokket
- Spesialverktøy som kan opereres fra roterende skive er utviklet for rutinemessig vedlikehold av lokket til reaktortank, for eksempel oppgjenging av gjenger for bolter til ILS'er,
- Ved utlasting av brensel og andre strålende gjenstander fra reaktor eller lagringsbassenger for brukt brensel er selve oppheisingen av elementene til håndteringsbeholder fjernstyrt fra en skjermet posisjon.
- Begge kompartementene er utstyrt med brønn hvor brensel og strålende gjenstander oppbevares det meste av tiden det står i kompartementet. Doserater fra brenselet på utsiden av kompartementet er derfor normalt mye lavere enn det som er beregnet i 4.2.3
- Bruk av fjernstyrte ventiler ved operering av systemer for flytende radavfall eller annet avfall, for eksempel ved overføring av ionebyttermasse til transportbeholder.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 54 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

### 4.3 Ventilasjon for strålevern

#### 4.3.1 Grunnleggende prinsipper

Drift av reaktoren gir opphav til radioaktive gasser, damp og aerosoler. Ventilasjonssystemet ved anlegget skal sikre vern av de som arbeider på- og ved potensielt kontaminerte reaktorsystemer ved å føre denne luftkontamineringen vekk. Samtidig må utslipp av radioaktive stoffer til omgivelsene minimaliseres så langt det er praktisk mulig. Dermed må ventilasjonssystemene føre luftkontaminering ut av reaktorsystemet på en sikker og kontrollert måte som tar hensyn til strålevern både for arbeiderne og for befolkningen og omgivelsene utenfor reaktoranlegget.

Eventuell rensing av luftstrømmer før utslipp skjer ved hjelp av partikkelfiltre, kullfiltre og ved forsinkelse av luftstrømmen slik at de mest kortlivede radionuklider dør hen før utslipp.

Som prinsipp, skal kontaminerte luftstrømmer behandles så tidlig som mulig i prosessen, det vil si så nært kilden som mulig, før de blandes med andre luftstrømmer. Rensing av luftaktivitet vil være mer effektiv ved rensing av begrensede luftstrømmer samtidig som man unngår å spre kontaminering til andre deler av anlegget dersom kontaminering fjernes så tidlig som mulig. Etter rensing går luftstrømmene sammen til overvåking før de slippes ut.

Hovedventilasjonen som ventilerer hele inneslutningen, og andre ventilasjonssystem som behandler kontaminerte prosessluftstrømmer (off-gas) har til hensikt å føre bort og eventuelt rens luftkontaminering under normale driftsforhold og ved driftsforstyrrelser. I tillegg finnes det ventilasjonssystemer som er designet for å håndtere en alvorlig uhellssituasjon - nødrensesystemer.

#### 4.3.2 Reaktor inneslutning

##### *Hovedventilasjonssystem*

Hovedventilasjon skal holde temperaturen i inneslutningen på et akseptabelt nivå for prosessutstyr samtidig som den skal føre bort og rens radioaktiv forurensing i lufta før den slipper den ut til omgivelsene. Dette begrenser kontaminering i inneslutningen og bidrar dermed til å begrense doseraten til de som utfører arbeid i inneslutningen.

[REDACTED] En vifte i utgående ventilasjonskanal (PC 1) henter luft fra taket i inneslutning, reaktorpit og fuelpit. En separat resirkulerings ventilasjonssystem (PC 5 og 6) reduserer temperaturen og øker luft bevegelsen ytterligere i inneslutningen. Dette systemet har ingen filter og dermed ingen rensfunksjon.

Den samlede utgående ventilasjonsluft passerer gjennom hovedfilteret (Fi 13) før den slippes til omgivelsene. Luften passerer først gjennom et grovt partikkelfilter. Deretter passerer luften gjennom 3 parallelle filterpakker, hver bestående av 4 filter i serie – først 3 kassetter med KI-impregnert kull for absorbering av jod, og til slutt et HEPA filter for filtrering av gjenstående partikkelaktivitet i luften.

Etter filtrering blir luften sluppet til omgivelsene gjennom en ca.10m høy pipe. Høyden på pipa og temperaturen på utgående luft bidrar til spredning av utsluppet aktivitet.

##### *Offgas-system*

Det er mange systemer knyttet til reaktoren som genererer, eller har potensialer for å generere radioaktive gasser og aerosoler. Ventilering av disse systemene ender til slutt i hovedventilasjonskanalen før Fi 13, slik at all utgående luft passerer gjennom et grovt partikkelfilter, et impregnert kullfilter og til slutt gjennom et HEPA filter. For å redusere aktivitetsinnhold før den

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 55 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

kommer til hovedfilteret og for å skape en forsinkelse av evt. radioaktive edelgasser, er det installert et offgas-system hvor kontaminert prosessluft kan dirigeres gjennom før den slippes til ventilasjonskanalen.

Offgas-systemet består av avluftingsrør som leder ventilert prosessluft til hovedventilasjonskanalen. En gammamonitor (Mon 7) med en forhåndsinnstilt alarmgrense overvåker samlerøret. Dersom aktivitetsinnholdet i luften ligger under grensen, passerer prosessluften gjennom et kullfilter (Fi 39) og ut til ventilasjonskanalen, før hovedfilteret. Dersom det registreres aktivitet over den forhåndsinnstilte alarmgrensen, endres ventilstillinger automatisk for å dirigere luften til en kullseeng. Etter rensing og forsinkelse i kullseengen, passerer luften enda en monitor (mon43) og dersom den fremdeles er over en forhåndsinnstilt alarmgrense, blir luften dirigert gjennom enda en kullseeng. Luften blir sjekket på nytt av monitor 43. Ved fortsatt aktivitet over et gitt nivå dirigeres luften til storage tank. Luften slippes deretter normalt ut i hovedventilasjon eller tilbake i offgas-systemet for ytterligere rensing (manuell ventilstyring).

Gass fra reaktorens lav- og høytrykks rekombineringsystemer vil alltid inneholde noen radioaktive gasser/aerosoler og i tillegg utgjør de en kilde til potensielt store mengder radioaktive gasser. Reaktorens rekombineringsystemer luftes derfor over offgas-systemet. Eksempler på andre systemer som ventileres over offgas-systemet er Ultra High Gas Pressure System, Material Rig Gas Flow System, Fuel Rod Gas Flow System.

På den måten blir prosessluften fra systemer med det største potensialet for radioaktive gasser, monitorert når den passerer gjennom offgas-systemet og vil bli dirigert til kullseengene om nødvendig.

Andre systemer derimot inneholder som oftest små mengder radioaktive gasser, men har et potensial for større gassmengder. Disse ventileres direkte til hovedventilasjonskanalen, med mulighet til å dirigere avlufting til offgas-systemet hvis operatøren finner det nødvendig eller hensiktsmessig. Eksempler på dette er avlufting av eksperimentalkretser og dumpetanker.

Ingen av systemene dirigeres automatisk gjennom kullfilter. Det er ikke ønskelig å dirigere luft som ikke trenger rensing gjennom rensesystemer fordi det vil, over tid, redusere kullets opptaksevne for jod. Derfor blir rensing i kullseengene styrt av gammamonitorer, eller av operatøren.

#### *Overvåking*

Utgående ventilasjon etter Fi 13 overvåkes kontinuerlig ved hjelp av to gammamonitorer (Mon 11, Mon 12), samt en tritiummonitor som registrerer edelgass- og tritiumaktivitet i kanalen (Mon 19). En del av luftstrømmen i kanalen blir også ledet over partikkel og kullimpregnerte filtre som er monitorert med GM-rør for å overvåke partikkelaktivitet og jod i utgående luft (Mon 14, Mon 23). Alle monitorer har en alarmfunksjon som varsler i kontrollrom ved økt aktivitet og de to gammamonitorene (Mon 11, Mon 12) er koblet til en automatisk avstengingsfunksjon. Dersom det registreres aktivitet over et forhåndsinnstilt nivå vil ventilasjonsviftene stoppe og 3 ventiler i inngående og 3 ventiler i utadgående kanal stenges automatisk. På den måten stenges kontaminert luft inne i inneslutningen inntil situasjonen er vurdert. Ventilasjonen må igangsettes manuelt.

I tillegg til å begrense utslipp til omgivelsene, gir monitorering av ventilasjonsluften en kontinuerlig kontroll av kvaliteten på rensingen gjennom filter 13.

Overvåking av  $\gamma$ -aktivitet i arbeidsluften i reaktorhallen skjer ved at luft dras ufiltrert fra reaktorhall og over et kullimpregnert filter som monitoreres kontinuerlig med en gammamonitor (Mon 32) med alarm i kontrollrommet, mens det er visning av instrumentverdi både i kontrollrom og reaktorhall.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 56 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### *Ventilering ved arbeidssituasjoner med potensialer for luftkontaminering*

Når det skal gjøres inngrep på systemer som er eller kan være kontaminerte, er det viktig at pusteluften til de som oppholder seg i området holdes så fri for radioaktiv kontaminering som mulig. Dette oppnås ved bruk av et generelt avsugsystem bestående av vifter og en rekke avsugsslanger, montert på strategiske steder, som leder luften til hovedventilasjonskanalen, før hovedfilter. Før åpning av et kontaminert system skal avsugsslangen plasseres slik at luften trekkes vekk fra området der arbeiderne står. Ved håndtering av brensel eller høyt kontaminert gjenstander, anvendes en ventilert inneslutning (koffin, kompartement) som sikrer en luftstrøm fra arbeidsområdet til ventilasjonskanalen. I spesielle tilfeller kan det i tillegg beordres bruk av gassmasker for å begrense mulig inntak av kontaminert luft.

#### *Luftrensesystemer for uhellssituasjoner*

For å begrense de radiologiske konsekvensene av et alvorlig uhell må luftbåren aktivitet hindres i å lekke ut til omgivelsene. Prinsippet som anvendes for å oppnå dette er å inneslutte reaktorplanet i den grad det er mulig, for så å rense luften i inneslutningen for luftbåren aktivitet. Avstenging av inneslutningen er beskrevet i HBWR-SAR-7.

I inneslutningen er det to uavhengige rensesystemer som begge tar atmosfæren fra waste-pit, reduserer aktivetskonsentrasjonen ved hjelp av impregnert kullfilter og så ventilerer den til reaktorhallen. Atmosfæren i inneslutning blir dermed resirkulert gjennom rensesystemer.

Et tilsvarende system med vifte og kullfilter renser og resirkulerer luften i slusa.

Luften i trikken og i hulrommene over Olavshallen blir renses gjennom to separate og uavhengige rensesystemer bestående av vifter og kullfilter. I motsetning til nødrensesystemene omtalt over som resirkulerer luften, blir den filtrerte luften fra trikken og hulrommene ventilert direkte til ventilasjonskanalen på utsiden av de stengte ventiler.

Kullet i nødrensesystemer byttes med jevne mellomrom og er ikke i bruk annet enn når viftene og ventilene i systemene testes.

#### **4.3.3 Fuel Bunker Building (FBB)**

[REDACTED]  
[REDACTED] Rommet har et eget ventilasjonsanlegg samt monitorer for overvåking av radioaktivitet i luften.

##### *Romventilasjon*

Ventilasjonen i FBB består av to vifter som automatisk veksler om å gå (PC95, PC96). En vifte vil derfor alltid være i reserve. Luften i rommet passerer først et grovfilter/finfilter (Fi28) samt et kullfilter (Fi84) for fjerning av aktivitet før utslipp til friluft. Trykkfall i avsugsystemet og gir alarm i kontrollrommet (F90).

#### *Ventilering av prosesser og arbeidssituasjoner med potensialer for luftkontaminering*

Brenselager (Fuel Storage Pond), koffin og generelle avsug er ventilert via hovedventilasjonen i FBB. Brensel som lagres tørt i Fuel Storage Pond har avsug på hver posisjon med flowmeter som gir alarm i kontrollrommet ved for lav flow. Under brenselhåndtering vil koffin være ventilert med eget mobilt avsug samt ved transport av brensel inn/ut av Reaktorhall. Det blir også benyttet mobilt avsug ved arbeid på andre aktive systemer. Eksempel på dette kan være tømning av ionebyttermasse.



|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 57 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### *Overvåking*

Luften i FBB er overvåket av en gammamonitor (Mon 28) med partikkelfilter og gir lydalarm i FBB samt alarm i kontrollrommet. Luften som slippes ut i det fri fra ventilasjonsanlegget er overvåket av en gammamonitor med kullfilter (Mon 20). Noe av luften sendes også gjennom et kullfilter (Fi96) som analyseres månedlig og benyttes som grunnlag i utslippsberegninger fra FBB.

#### **4.3.4 Metallurgisk Laboratorium (Metlab)**

Metlab benyttes til arbeid med brensel og materialprøver samt til lagring av rigger uten brensel. Eksempler på slikt arbeid kan være oksidmåling av brenselpinner, interiminspeksjon og gammascanning. Alt arbeidet blir utført i kompartementet. Kun brenselhåndtering kan gi luftkontaminering i Metlab, andre arbeidsoperasjoner som kan gi luftkontaminering utføres i FBB.

#### *Ventilasjon av kompartement*

Ventilasjonen i Metlab består av to vifter (PC44, PC45) som vekselvis ventilerer kompartement. En vifte vil alltid være i reserve. Luften fra kompartement passerer først et grovfilter (Fi59) deretter et kullfilter (Fi58) og et finfilter (Fi56) for fjerning av aktivitet før utslipp til friluft.

#### *Ventilering av arbeidssituasjoner med potensialer for luftkontaminering*

Ved arbeid med brensel i kompartement skal avsug alltid startes for å skape et undertrykk i kompartement. Luft suges fra rommet rundt og ventilerer dermed også arbeidsluften. Dette hindrer at kontaminert luft spres fra kompartement til luften i rommet. Mobilt avsug benyttes når brensel flyttes eller er lagret i koffin og ved transport av brensel inn/ut av Reaktorhall.

#### *Overvåking*

Noe av luftstrømmen som trekkes ut fra kompartement sendes gjennom en gammamonitor med kullfilter (Mon 34) for overvåking av radioaktivitet. En gammamonitor med partikkelfilter overvåker luften i Metlab (Mon 27). Begge gammamonitører har lokal lydalarm samt alarm i kontrollrommet. Noe av luften ut fra kompartement sendes også gjennom et eget kullfilter, Fi 184, som analyseres månedlig og resultatet benyttes i utslippsberegninger.

#### **4.3.5 Eksperimentallaboratorium (Hemsen)**

Hemsen er lokalisert utenfor slusa i andre etasje mot reaktorhallen og fungerer som et laboratorium for prøvetaking av primærkrets og eksperimentalkretser. Hemsen har to systemer for avsug: Ett for prøvetaking og ett for ventilering av arbeidsluften i rommet.

#### *Romventilasjon*

Arbeidsluften i hemsen ventileres av et eget avsug (PC 15) som fører bort eventuelle radioaktive gasser eller kjemikalier i luften.

#### *Ventilering av prøvetaking og arbeidssituasjoner med potensialer for luftkontaminering*

De fleste ventiler for prøvetaking er plassert i skap med eget avsug som ventileres ut i hovedventilasjonskanalen. Det er også mulig å benytte et mobilt avsug som plasseres direkte over ventilen under prøvetaking, samt under arbeid på aktive systemer. Utslipet fra skapene og mobilt avsug overvåkes av gass-, partikkel- og gammamonitører i hovedventilasjonskanalen.

#### *Overvåking av arbeidsområdet*

Hemsen overvåkes av to gammamonitører som er plassert i hver ende av rommet (Mon 1, Mon 6) samt en luftmonitor for overvåking av luft (Mon 24). Alle monitørene gir lokal lydalarm samt alarm i kontrollrommet.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 58 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### 4.4 Faste monitorer

Reaktoranlegget blir kontinuerlig overvåket av fastmonterte monitorer. Alarmer som er koblet til disse monitorene vil starte manuelle og automatiske aksjoner for å hindre spredning av radioaktivitet til omgivelsene og hindre at personell utsettes for stråling.

Alle monitorer opererer kontinuerlig og er koblet til datainnsamlingssystemet. Data lagres kontinuerlig. Noen er også koblet til digitale skrivere i kontrollrom (monitor 19 og 33). ProcSee kan vise data for de tre siste årene, mens datainnsamlingssystemet lagrer ubegrenset.

De fleste monitorer har viserinstrument og lydalarm i kontrollrommet. Noen har i tillegg også lyd- og lysalarm og viserinstrument lokalt.

Alle gammamonitorer er listet i monitorspesifikasjoner, vist i ████████ til ████████. Plassering av de forskjellige monitorene er vist i ████████

En fullstendig beskrivelse av alle fastmonterte monitorer finnes i QA-RPI-126 [32].

##### 4.4.1 Gammamonitorering

Gammastrålingen på reaktorområdet måles ved hjelp av ionisasjonskammer, Geiger-Müller rør og natriumjodid scintillasjonsdetektor.

Monitor 3 og Monitor 8 er plassert på hver side av reaktorlokk og overvåker strålingsnivået i området under håndtering av elementer fra reaktoren. Monitor 2, 42, 16 overvåker strålingsnivå i henholdsvis Sink, 1. og 2. underetasje. Monitor 35 i Met.Lab overvåker strålingsnivå under arbeid ved kompartement og Mon 15 og 31 i FBB overvåker strålingsnivå under håndtering av høyt strålende elementer i FBB.

Monitor 1 og 6 er plassert i hver ende av eksperimentallaboratorium (hems) og overvåker strålingsnivå under arbeid ved analyse og prøvetakning.

Monitor 17 overvåker STA og ble benyttet tidligere til å oppdage brenselsfeil.

Monitor 22 overvåker aktiviteten i primærvann inn mot primær rensekrets. Økt aktivitet her gir indikasjoner på brenselfeil.

Monitor 7 og 43 overvåket Offgas under drift av reaktoren. Monitor 7 sendte da gassen automatisk til et rensesystem ved aktivitet over fastsatt nivå. Monitor 43 sjekket den rensede gassen og sendte gassen automatisk til Storage tank ved aktivitet over fastsatt nivå. Monitor 21 overvåket aktiviteten i gassen ut fra Storage tank til ventilasjon (VAO).

En rekke monitorer overvåker eksperimentalkretser i anlegget. De fleste står plassert foran inngangen til rensekretsen til respektive eksperimentalkrets. Eneste oppgave er å overvåke aktivitetsnivået i eksperimentalkretsen. Dette gjelder monitor 26, 36, 38, 41 og 45. Monitor 40 overvåker nedspylingslinje til eksperimentalkrets 13 mot dumpetank og som kun ble benyttet under LOCA eksperiment. Monitor 13 som står plassert på eksperimentallaboratorium (hems) og som overvåker prøvetagningslinje fra eksperimentalkrets 10. Monitor 25 overvåker direkte på hovedrør i eksperimentalkrets 4, plassert i 1. underetasje.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 59 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### 4.4.2 Luftmonitorering

##### *Reaktorhall*

Alle luftmonitører overvåker kontinuerlige luften. Luftmonitører har en gjennomstrømning på 10 l/min.

Fire monitører kontrollerer luften ut fra inneslutningen (Ventilation Air Out, VAO).

- Mon 14 (VAO partikkel)
- Mon 23 (VAO kullfilter)
- Mon 19 (VAO, Tritium/Edelgass)
- Mon 33 (VAO, Tritium/Edelgass)

Mon 32 (Reaktorhall, Kullfilter) kontrollerer luften i inneslutningen (ufiltrert luft). Monitoren benyttes til overvåking under arbeid i Reaktorhall.

Monitor 14 og monitor 23 er koblet i serie med luftinntak fra VAO (hovedventilasjon i RH). Monitor 23 har kullfilter og mon 14 har partikkelfilter.

Det er mulig å skille mellom tritium og edelgass ut fra inneslutningen. Ved å fange tritium i en fuktfelle kan Mon 19 og Monitor 33 måle nivået av edelgass.

I tillegg overvåker to gammamonitører utslippet fra VAO, Mon 11 (Air 1) og Mon 12 (Air 2). Disse er plassert nær hovedventilasjonskanalen i Olavshall og overvåker alle utslipp fra inneslutningen. Når begge (2 av 2 system) registrer radioaktivitet som overstiger alarmnivå, stopper viftene og seks ventiler i hovedventilasjonen stenger automatisk.

Det er økt mulighet for radioaktivt utslipp til reaktorhall eller ventilasjon når aktivt arbeid utføres i reaktorhall. Det er av sikkerhetsmessige grunner mulig å overstyre Mon 11 og Mon 12 slik at ventilasjonen ikke stenger under arbeid i reaktorhall. Mon 11 og Mon 12 kan også overstyres ved transport av høyt strålende elementer inn og ut av reaktorhall. Transporten passerer under monitorene og kan utløse aksjon og ventilasjonen stenger.

Monitor 24 (Air Exp.Lab Partikkel) overvåker personell på eksperimentlaboratorium ved å måle radioaktivitet i luften ut fra ventilasjonen. Personell i reaktorhallen er overvåket med monitor 32 som også fungerer når reaktorhallen er stengt og under trykk.

##### *Fuel Bunker Building (FBB) /Metallurgisk Laboratorium (Met.Lab)*

Monitor 20 (Air FBB) overvåker ventilasjonen ut fra FBB. Monitor 28 (Air FBB) overvåker luften i FBB for partikkelaktivitet. Monitor 27 (Air Met.Lab) overvåker luften i Met.Lab for partikkelaktivitet.

Monitor 34 (Air kompartement, Met.Lab) er en partikkelmonitor som overvåker ventilasjonen ut fra kompartementet. Ved utslipp av gass fra brenselpinne eller annen luftkontaminering vil monitor 34 gi lokal lydalarm og alarm i kontrollrommet.

I tillegg blir det benyttet en bærbar gassmonitor for å overvåke luften under håndtering av bestrålt brensel i FBB eller Met.Lab.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 60 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### 4.4.3 Vannmonitorering

Vann fra sink, kjølevann og delaytank er kontinuerlig overvåket for gammaaktivitet. ████████ viser plassering av vannmonitører. Den totale aktiviteten (Gross Gamma) blir presentert på Procsee. Instrumentene som overvåker sink, kjølevann og delay er natriumjodid scintillasjonsdetektorer som er svært følsomme for gammaaktivitet.

Delaysystemet består av to monitører, Mon 4 og Mon 5. Hver av disse vil stenge utløpet fra delaytanken hvis aktiviteten i vannet overstiger fastsatt nivå (1 av 2 system). Vannet vil da samles i delaytanken.

Mon 9 (Sink1 linje) og Mon 10 (sink2 linje) overvåker vannet ut fra reaktorhall (sink) og vil ved aktivitet over fastsatt alarmnivå (1 av 2 system) hver for seg starte «program unit 2» (PU2) og sende vannet fra reaktorhall (sink) til wastepit i stedet for delaytank 1. Det er mulig å overstyre PU2 ved transport av radioaktivt materiale inn og ut av reaktorhallen samt ved service og vedlikehold.

Mon 37 overvåker kjølevannet ut fra reaktorhall og gir kun en alarm, ingen aksjon.

Mon 29 (Water FBB Storage Pond) og mon 30 (Water FBB Handling Pond) gir ingen alarm eller aksjon.

#### 4.4.4 Monitorering ved ulykke

Ved ulykke er det mulighet for at alle detektorer for måling av stråling overstiger maksimumnivå. Mon 18 og 39 utenfor inneslutningen vil fortsatt fungere under disse forhold. Mon 18 overvåker området utenfor reaktorhallen og er plassert på taket over Olavshallen. Monitor 39 har måleområde 0,001-1000Sv/time og er plassert i Olavshallen.

#### 4.4.5 Reaksjonstid og metoder for prøvetaking

##### *Luft*

Luftmonitører er plassert i område hvor det er sannsynlig at kontaminert luft/gass kan forekomme. Disse områdene er godt ventilert og har høy luftutsiftning, se avsnitt 4.3. Alle luftmonitører har en gjennomstrømning på 10 liter/min.

I noen tilfeller er det trukket rør fra sniffepunktet til monitøren. Dette gjelder monitor 14 (VAO partikkel), monitor 23 (VAO kull) og monitor 24 (luft exp.lab). Maksimal lengde for eksisterende sniffelinjer er ca. 10m. Med 8mm innvendig rør gir dette 12 sekunder responstid. I tillegg kommer instrumentets responstid på 10 sekunder.

Monitor 32 har et snifferør på ca. 25m. Med 8mm innvendig rør gir dette 30 sekunder responstid. I tillegg kommer instrumentets responstid på 10 sekunder.

Monitor 27 (Met.Lab) og monitor 28 (FBB) står direkte i området det sniffes fra og har kun instrumentets responstid på 10 sekunder.

##### *Gamma*

Gammamonitører er plassert i områder hvor det av erfaring stråler fra komponenter og hvor arbeid utføres. Gammamonitøren har en umiddelbar reaksjon på endret strålingsnivå, men har en innebygd forsinkelse på 10-30 sekunder (tidskonstant). Det vil si 10-30 sekunder til 90 % av fullt instrumentutslag.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 61 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### *Vann*

Alle vannmonitører overvåker kontinuerlig. Det pumpes vann fra prøvested gjennom monitøren og endring i aktivitetsnivå avleses direkte.

Monitor 37 står direkte i kjølevannet ut fra RH og vil reagere umiddelbart på endring i aktivitetsnivå. Instrumentets responstid er 10 sekunder.

Monitor 4 og 5 har en gjennomstrømning fra delaytank 1 på 10 l/min. Avstanden til delaytank 1 er ca. 15 m. Indre rørdiameter er 12mm. Det gir en forsinkelse på 40 sekunder. I tillegg kommer instrumentets responstid på 10 sekunder.

Monitor 9 og 10 har en gjennomstrømning fra sinklinjer på 5 l/min. Avstanden til uttak på sinklinje i slusa er ca. 20m. Med 8mm innvendig rør gir dette ca. 48 sekunder responstid. I tillegg kommer instrumentets responstid på 10 sekunder.

#### **4.4.6 Funksjonstest av fastmonterte monitører**

Funksjonstesting av fastmonterte monitører bygger på krav i IAEA SSR 3 [1] (paragrafene 6.86 - 6.89).

Alle fastmonterte monitører og tilhørende alarmer og aksjoner blir funksjonstestet hvert halvår. Funksjonstest blir utført i henhold til prosedyren QA-RPI-45 (Funksjonstest av fastmonterte monitører). I tillegg blir gassmonitører testet ifølge prosedyren beskrevet i QA-RPI-147 (Testing av gassmonitører).

##### *Testing av gammamonitører*

En kilde føres nær inntil gammadetektoren og beveges til gitte avstander med kjent doserate. Utslag avleses på viserinstrument i mSv/time eller mR/time.

##### *Testing av tritiummonitører*

Et lukket system bestående av en kalibrator med kjent volum kobles til gassmonitøren. Det tilsettes tritiumgass med kjent volum og aktivitet i flere omganger. Utslag avleses på instrument i MBq/m<sup>3</sup>.

##### *Testing av luftmonitører*

En kilde føres nært inntil detektoren i fast avstand med kjent doserate. Utslag avleses på instrument i CPS (counts per second).

##### *Testing av vannmonitører*

En kilde føres nært inntil detektoren i vannbeholderen i fast avstand med kjent doserate. Utslag avleses på instrument i CPS (counts per second).

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 62 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

## 5 Behandling av radioaktivt avfall

### 5.1 Behandling av fast avfall

Det etterfølgende omhandler lav- og middelsaktivt avfall i fast form som genereres på anlegget, blant annet radioaktiv ionebyttermasse, kontaminerte metalleder og laboratorieavfall. Høyaktivt avfall, som brukt reaktorbrensel, er ikke omtalt videre. Anlegget genererer heller ikke avfall med tilstrekkelig kort halveringstid til at lagring for radioaktiv desintegrasjon er en aktuell behandlingsform.

Reaktoren er nå i en permanent nedkjørt tilstand og inntil det er etablert en dekommisjoneringsplan er det usikkert hvor mye eller hva slags avfall som vil bli generert. I Halden blir avfallet pakket i tønner, stålkasser eller kokiller avhengig av form og doserate på avfallet. Avfallet blir deretter transportert til radavfallsavdelingen ved IFE, Kjeller som har ansvar for eventuell videre behandling og senere transport til KLDRA-Himdalen for deponering.

#### 5.1.1 Avfallstyper og nuklidesammensetning

Siden både lav- og middelsaktivt avfall skal deponeres i KLDRA-Himdalen er det ikke etablert metoder for å skille disse to avfallsklassene. I det videre følger en beskrivelse av de forskjellige avfallstypene.

##### *Kontaminert avfall*

Kontaminert fast avfall fra anlegget består av:

- Papir, plast og andre komprimerbare materialer
- Rør, komponenter og filtre fra ytre systemer
- Kasserte filtre fra kjemisk analyse
- Kassert verneutstyr
- Kassert tøy

Det tas jevnlig prøver av aktivt avfall som analyseres for gammaemittere. Resultatene vurderes årlig og respektive nuklider endres [33]. Strålingen fra det pakke avfallet måles på 10 cm avstand. De resulterende strålingsmålingene benyttes sammen med gjeldende aktivitetsfordelingsnøkkel for den gitte nuklide for å fastsette aktiviteten i avfallet. Metoden bygger på beregninger med MicroShield 10 [23] og er beskrevet i [34]. Aktivitetsfordelingsnøgkelen benyttet i 2018 er gitt i [33] og revisjon av denne er gitt i [34].

##### *Bestrålt materiale*

Bestrålt materiale kan være bunnplugg, men foreløpig er mengden av denne type avfall svært begrenset. Aktivitetsinnholdet på bestrålt materiale blir beregnet ut fra bestrålingstiden, estimert nøytronfluks, materialsammensetning og masse. Typiske nuklidedelinger av noen typer materialer er vist i Tabell 22.

Tabell 22 Nuklidesammensetning (% aktivitet) av bestrålt materiale med forutsetning om 10 års bestrålingstid med nøytronfluks på  $1E+13$  n/cm<sup>2</sup> og 1 og 5 års desintegrasjon

|        | AISI 304,316,431 |        | INC 600 |        | INC-X-750 |        | Zirc 4* |        |
|--------|------------------|--------|---------|--------|-----------|--------|---------|--------|
|        | 1 år             | 5 år   | 1 år    | 5 år   | 1 år      | 5 år   | 1 år    | 5 år   |
| Cr-51  | 0,03             | <0,001 | 0,07    | <0,001 | 0,02      | <0,001 | 0,02    | <0,001 |
| Mn-54  | 0,23             | 0,02   | 0,07    | 0,00   | 0,01      | <0,001 | 0,06    | 0,01   |
| Fe-55  | 77               | 66     | 24      | 13     | 4,9       | 2,8    | 20      | 38     |
| Co-58  | 0,04             | <0,001 | 0,70    | <0,001 | 0,21      | <0,001 | <0,001  | <0,001 |
| Co-60  | 21               | 30     | 44      | 39     | 85        | 82     | 17      | 53     |
| Ni-59  | 0,02             | 0,04   | 0,28    | 0,42   | 0,08      | 0,14   | <0,001  | <0,001 |
| Ni-63  | 1,8              | 4,2    | 32      | 47     | 9,8       | 15     | 0,03    | 0,18   |
| Zr-95  |                  |        |         |        |           |        | 17      | <0,001 |
| Nb-95  |                  |        |         |        |           |        | 37      | <0,001 |
| Sb-125 |                  |        |         |        |           |        | 3,6     | 6,9    |

\* Vil også ha et lite bidrag fra sinkisotoper

#### *Ionebyttermasse*

Det tas en prøver av hver ionebytter som skal skiftes ut for å bestemme aktivitetsinnholdet i massen. Prøven analyseres ved bruk av gammaspektralanalyse og dersom den kommer fra primærkrets eller brenselagere i reaktorhall, analyseres den også for alfaaktivitet. Vanligvis detekteres et titalls forskjellige nuklider i massen avhengig av hvilket system massen kommer fra.

#### *Ikke-kontaminert avfall*

Alt avfall som er generert på kontrollert område, men som har vært vurdert som ikke-aktivt, blir transportert til rommet for kontamineringskontroll av avfall og utstyr i Olavshallen. Der blir avfallet kontrollert med en kontamineringsmåler. Dersom det måles over bakgrunn på avfallet blir det klassifisert som radavfall.

### 5.1.2 Avfallsstrømmer og mengder

Figur 18 viser behandlingen av fast avfall.

#### *Kildesortering*

For å minimalisere mengden avfall som må klareres ut fra kontrollerte områder, forsøkes det å begrense mengde emballasje som tas inn på disse områdene. For øvrig blir alt avfall grovsortert på plass.

På kontrollerte områder er det stasjoner med søppelbeholdere til kildesortering for ikke-aktivt og for lavaktivt søppel som kan oppbevares uskjermet og uten tetting. Det er tre stasjoner i inneslutningen en stasjon i eksperimentallaboratoriet, en stasjon i bunkeren og en stasjon i høye rommet. Søppelbeholdere for aktivt avfall skal ikke inneholde avfall som gir en netto doserate på overflaten av avfallsbeholderen som overstiger 500  $\mu$ Sv/t.

På vaskeriet, kjemilaboratoriene og laboratoriet på strålevernavdelingen er det også avfallsbeholdere for ikke-aktivt og for lavaktivt søppel. Doseraten på 10 cm avstand fra disse søppelkassene skal ikke overstige 20  $\mu$ Sv/t.

Alt aktivt avfall fra avfallsbeholdere bringes til kapperommet for pakking. Plast, papir etc. pakkes i 200 liters metalltønner for senere kverning og komprimering på radavfallsanlegget ved IFE, Kjeller. Lavaktivt metallavfall pakkes i uskjermede metallkasser, og metallavfall som krever skjerming for

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 64 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

transport, blir pakket i betongkokiller som fylles med betong. Alt ferdigemballert avfall sendes til radavfallsanlegget på IFE, Kjeller som har ansvar for den nødvendige viderebehandling og senere deponering.

#### *Behandling av annet fast radavfall*

Plast og papir med markert stråleende innhold, innhold i støvsugerposer, aktive filtre, kasserte bunnplugg og kontaminert metall representerer normalt moderate aktivitetsmengder, men kan ikke legges i avfallsbeholderne på kontrollerte områder på grunn av doseratebegrensinger på beholderne, se ovenfor. Uttransportering fra reaktorhallen skjer derfor umiddelbart. For sterkere stråleende enheter benyttes en skjermet transporttønne. Der det er stor overflatekontaminering pakkes gjenstandene i plast. Håndtering av slike enheter skjer med assistanse av strålevern-avdelingen.

Aktivt metallskrap som rør fra primærhovedkrets og eksperimentalkretser kan normalt bringes uskjermet ut fra reaktorhallen. Røråpningene tettes for å forhindre spredning av kontaminering.

Som hovedregel lastes avfallet umiddelbart i en kokille eller stålkasse, men ved behov kan avfall som er forsvarlig sikret, oppbevares midlertidig i trau til dette formålet i avfallstunnelen. Lengre kontaminerte rør bringes til kapperommet for kapping og pakking.

Større mengder bestrålt materiale, f.eks kasserte rigger, som har for høy aktivitet til å kunne tillates transportert til Kjeller i den type avfallsbeholdere som blir benyttet. Disse blir lagret i påvente av senere oppkapping og transport til Kjeller. Lagrene er beskrevet i HBWR-SAR-10.

Tabell 23 viser en oversikt, for perioden 01.01.2018 – 01.01.2019, over total mengde fast kontaminert avfall i perioden og dens masse.

Tabell 25 til Tabell 26 gir aktivitetsfordelingen. Denne oversikten illustrerer mengder og konsentrasjoner i de forskjellige avfallstypene. Spesielt kommer det fram at grensen på 4000 Bq/g med alfaaktivitet pr kolli og 400 Bq/g generelt for Himdalen overholdes for avfallet fra HBWR.

Tabell 23 Totalt antall beholdere og masse i perioden 01.01.2018-01.01.2019

| Beholder              | Totalt antall i oppgitt periode | Netto masse [kg] |
|-----------------------|---------------------------------|------------------|
| Tønne                 | 60                              | 753              |
| Stålkasse             | 8                               | 8380             |
| Kokille m/fast avfall | 1*                              | 101              |

\*Det ble i alt sendt 4 kokiller i 2018 med, men 3 inneholdt også avfall etter hendelsen i 2016, og er derfor utelatt siden nuklidefordelingen ikke er representativ for kokiller.







|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 67 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### *Ikke-kontaminert avfall*

Strålevernavdelingen har faste rutiner på å kontrollere alle containere med ikke-aktivt avfall før de transporteres fra anlegget for å sikre at ikke noe av det ikke kontaminerte avfallet er kontaminert. Ikke kontaminert avfall sorteres i 9 ulike containere. Papir til gjenvinning, elektrisk avfall, restavfall, trevirke og papp kontrolleres ukentlig i tillegg til sluttkontroll. Alt som legges i containerne for metallavfall blir kontrollerte av strålevernavdelingen før det legges i containerne for henholdsvis "svart" jern, rustfritt stål og kobber/messing til gjenvinning. Container med papir til makulering blir kontrollert utvendig ved henting.

## **5.2 Behandling av flytende avfall**

I det etterfølgende er redegjort for vann fra Haldenreaktoren som enten inneholder radioaktivitet eller har en mulighet for å kunne inneholde radioaktivitet. Avløpsvann fra ikke-kontrollerte områder (kantine, garderober, toaletter) går til det kommunale ledningsnettet, og er ikke nærmere omhandlet.

Andre former for flytende avfall enn vann forekommer ikke.

### **5.2.1 Kilder til flytende radioaktivt avfall**

Radioaktivt kontaminert avfallsvann fra Haldenreaktoren består av et kontinuerlig utslipp fra fjellhallen, avfallstunnel, kjeller i metlab og garderobe i aktive soner og et varierende antall med ekstraordinære utslipp i form av tømning av tanker og brønner.

#### **5.2.1.1 Kontinuerlig utslipp**

Den største vannmengden kommer fra fjellhallen, i gjennomsnitt 2,5 m<sup>3</sup> i timen, og skyldes innsig av grunnvann (1 m<sup>3</sup>/time) samt vann fra noen kjølere (1,5 m<sup>3</sup>/time). Vannet er svakt kontaminert, hovedsakelig av tritium. Hovedkilden til tritium i vannet er tritium i atmosfæren i reaktorhallen, som overføres til vannet som pumpes ut. Konsentrasjonen av eventuelt andre nuklider er så lav at den normalt ikke er målbar med standard metoder. Vannet som pumpes ut, overvåkes kontinuerlig med to gammamonitører, mon 9 og mon 10, og det tas prøver 3 ganger pr uke for kontroll av tritiumkonsentrasjonen. Dersom monitorene går over en gitt alarmgrense, omdirigeres vannet og det blir samlet på tanker.

De andre kildene til det kontinuerlige utslippet, vann fra avfallstunnelen og fra innsig til kjeller i metlab, er svært små og kontamineringen er også her meget lav. Vannet kontrolleres med prøvetaking henholdsvis hvert kvartal og hver uke.

#### **5.2.1.2 Andre kilder til kontaminert avfallsvann**

##### *Vann fra lett vanns eksperimentalkretser*

Vann etter utskifting av kjølevann i eksperimentalkretser blir ledet til egne rensekretser og blir ikke sluppet videre derfra, før analyse viser at vannet har lave nok aktivitetskonsentrasjoner til at det kan gå til utslipp. Rensekretsene er meget effektive for alle nuklider bortsett fra tritium.

##### *Vann fra dekontaminering av utstyr*

Dekontaminering av utstyr foregår ved håndvask og gir opphav til noe kontaminert vann. Vaskevann etter håndvask av utstyr blir filtrert og går deretter direkte til inndamping.

##### *Oppsamlet vann etter vedlikehold av systemer*

Vann i forbindelse med åpning av systemer blir samlet på plastkanner. Lettvann blir dampet inn før utslipp, mens tungtvann blir renses i en egen rensekrets og tatt vare på.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 68 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### *Kasserte prøver fra kjemilaboratoriene*

Prøvene og første skyllevann av prøvebeholderne blir samlet på plastdunker, som etter en nøytralisering går til inndamping.

#### *Vann med høy aktivitet*

I enkelte tilfeller kan oppsamlet vann på plastdunker ha så høy aktivitet at det ikke lar seg dampe inn. Inndamping av høyaktivt vann kan medføre ufullstendig rensing og/eller at inndampingstanken og rørene blir unødvendig kontaminert. I disse tilfellene blir vannet analysert for gammaemittere og tritium, helt på glassflasker og deretter satt i plastdunker for en ekstra sikring mot lekkasje. Dunkene blir merket og lagret i avfallstunnelen inntil en tilfredsstillende håndteringsrutine er etablert. Grenser for når vannet ikke kan dampes inn er gitt i QA-RPI-102, se avsnitt 2.4.7.

#### *Vaskevann fra kjemilaboratoriene*

Første skyllevann blir tatt vare på, se ovenfor, mens beholderne og annet kjemistyr blir deretter vasket på vanlig måte. Vannet fra vaskene og vaskemaskinen samles på egne tanker og kontrolleres for aktivitet før det blir sluppet ut. Dersom aktiviteten er for høy til å tillate utslipp blir vannet satt til sirkulasjon gjennom en rensekrets.

#### *Vann fra brønn under FBB*

Innsig av vann under FBB og metlab samles i en brønn under FBB. Til brønnen går det også dreneringsrør fra tørre lagerposisjoner i FBB. Vannet er kontaminert med tritium og fisjonsprodukter og årsaken er tidligere utslipp av vann til lagerposisjonene som har kontaminert rørene fram til brønnen. Tilsiget til brønnen er svært lav, i størrelsesorden 1 m<sup>3</sup> i året. Om tilsiget har aktivitet over aksjonsgrensen, se avsnitt 5.2.7, ledes vannet til delaytank 3 for rensing med filtre og ionebyttere. Vannet blir kontrollert før det slippes ut. Vann som er under aksjonsgrensen, slippes direkte ut i Tista.

#### *Waste pit vann*

Nivåmålere i waste pit blir testet to ganger i året. Det foregår ved at vann fylles i bassenget til "High alarm" for så å pumpes ut til "Low alarm". Vannet ledes til delaytank 3 for rensing med filtre og ionebyttere. Vannet blir kontrollert før det slippes ut.

#### *Vann fra vask av kontaminert arbeidstøy*

Avfallsvannet fra vask av kontaminert tøy i vaskeriet blir sendt gjennom et partikkelfilter via en slamavskiller og over til en oppsamlingstank. Oppsamlingstanken er installert med rensekrets vha. ionebyttefiltrering med hensikten å kunne rense vaskevann i ekstraordinære tilfeller. Aktiviteten i vannet i oppsamlingstanken sjekkes før det slippes ut og dersom aktivitetsnivået overstiger forhåndsdefinerte verdier sendes vannet til rensing.

Vann som har vært benyttet til vask inneholder såpe, og er dermed i utgangspunktet vanskelig å rense. Tilseningsstoffene i såpe og tøyemykner kan tette igjen ionebytterfiltre og bruke opp kapasiteten på ionebytteren. Dette fører til ufullstendig rensing og generering av store mengder fast avfall. Destillering av vannet vil enten ikke la seg dampe inn eller såpen vil føre med seg aktivitet over i kondensatet. Aktiviteten i små mengder vann som inneholder såpe kan bli effektivt redusert vha. ionebyttefiltrering etter en spesiell metodikk. Aktiviteten i såpevann kan dermed reduseres i ekstraordinære tilfeller. Rensing av alt vannet fra vaskeriet vil føre til et stort forbruk av ionebyttemasse og dermed store mengder fast avfall, se over, og for det normale utslippet fra vaskeriet kan begrenning av dette utslippet bestå av enten å begrense mengden av vann som genereres eller graden av kontaminering av vannet. For det normale utslippet fra vaskeriet gjelder begrensinger på graden av kontaminering av tøyet som går til vask. Tøy som overskrider grensene blir behandlet som radioaktivt avfall. Vaskeriet for kontaminerte klær gir lite vann, ca. 4 m<sup>3</sup> per måned. Det benyttes vaskemaskiner som har et lavt vannforbruk.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 69 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

### *Vann fra garderober i aktive soner*

Garderobene for inn- og utpassering av aktive soner er utstyrt med håndvask og dusj. Vannet fra garderobene kan være svakt kontaminert og ledes til delaytank 1.

### **5.2.2 Ikke-kontaminert avfallsvann**

Det benyttes vann til kjøling av prosessutstyr (10 m<sup>3</sup>/time). Vannet tas fra det kommunale nettet og skal være fritt for tilført radioaktivitet når det slippes ut. Kjølevannet overvåkes kontinuerlig ved hjelp av et reservoar med en gammamonitor, Mon37, i utgående vannledning. I tillegg tas det prøver 3 ganger pr uke som analyseres for tritium og gammaemittere. Dersom det registreres en aktivitetsøkning, vil vannet bli omdirigert til tanker og forbruket av kjølevann reduseres til et minimum.

### **5.2.3 Avfallsstrømmer**

Figur 19 viser hvordan de forskjellige kildene nevnt over ledes til utslipp.

Det er fire tanker til oppsamling av avfallsvann; delaytank 1 med en ledig kapasitet på 5 m<sup>3</sup> (Total kapasitet 10 m<sup>3</sup>, men er alltid halvfull, se nedenfor), delaytankene 2 og 3, hver med en kapasitet på 10 m<sup>3</sup>, og waste pit inne i reaktorhallen med en ledig kapasitet på ca.90 m<sup>3</sup>. (Total kapasitet 135m<sup>3</sup>, men har alltid ca. 45m<sup>3</sup> vann av beredskapsmessige hensyn). Delaytankene blir regelmessig drenert og inspisert, og det avsatte slammet blir rensed ut og støpt inn som radioaktivt avfall.

Alt vann som nevnt under avsnitt 5.2.1 bortsett fra vann fra vaskeriet og kjemilaboratoriet (se nedenfor), ledes til delaytank 1. Utslipp fra tanken skjer kontinuerlig gjennom et overløpsrør, slik at tanken alltid står halvfull med vann. Den fungerer dermed som sedimenteringsbasseng for de resterende radioaktive stoffene i vannet.



Vaskerivannet, se avsnitt 5.2.1.2, ledes først gjennom partikkelfiltre til en slamavskiller og deretter til en oppsamlingstank. Oppsamlingstanken har en kapasitet på 2.8 m<sup>3</sup>. Vannivået i tanken er lysregulert i vaskeriet, slik at vaskemaskinene ikke settes i gang dersom nivået i tanken er for høyt. Når tanken er full, sjekkes vannet for gammaemittere og tritium før det slippes ut. Dersom aktiviteten i vannet overstiger forhåndsdefinerte verdier, blir vannet sendt til rensing vha. ionebutting.



|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 70 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### 5.2.4 Rensesystemer

Rensing av vann skjer ved hjelp av filter og ionebytterkolonner, destillasjon eller sedimentering.

Vann som dreneres fra eksperimentalkretser samles på en av tre dumpetanker, Ta 3003, Ta 2102, Ta 2101. Alle dumpetankene har et eget rensesystem som består av 1 stk. 1 micron filter og en 17 liter ionebytterkolonne. Effektiviteten av rensingen er normalt bedre enn 99 % for alle nuklider unntatt tritium.

Vann fra tømning av wastepit, brønnen under FBB og vann som omdirigeres pga forhøyet aktivitet blir ledet til delaytank 3. Derfra føres det gjennom et filterhus med 7 stk. 100 micron filter og en 17 liter ionebytterkolonne til delaytank 2. Dersom vannet fremdeles ikke er akseptabelt for utslipp kan det igjen overføres til delaytank 3 og rensingen kan gjentas. Effektiviteten av en enkelt passering av rensesystemet er normalt 95 % for alle nuklider unntatt tritium.

Ved destillasjon, blir vannet ført til en 170 liter avdampingstank med varmeelementer. Destillasjonen skjer svært langsomt ved en temperatur på 98 °C. Den kondenserte dampen ledes til en oppsamlingstank og aktiviteten kontrolleres før tillatelse til utslipp. Effektiviteten av rensingen er 95 % for alle nuklider unntatt tritium.



Vann fra vaskeriet samles i en oppsamlingstank tilknyttet en slamavskiller. Effektiviteten av sedimenteringen av aktivitet er målt til å være 15-40 % for transisjonsmetaller (Mn, Co, Zr, Nb, Cr) og rundt 8% for alkalimetaller (Cs). Effektiviteten av ionebyttfiltreringen av såpevann er bedre enn 90% for kationer.

Der den kjemiske sammensetningen eller andre forhold er til hinder for annen behandling, kan begrensede volumer av kontaminert vann bringes i fast form ved hjelp av sement og støpes inn i kokiller.

#### 5.2.5 Systemets kapasitet, redundans og fleksibilitet

Som det kommer fram i avsnitt 5.2.3 er den samlede ledige kapasiteten til waste pit og delaytanker 115 m<sup>3</sup>. Med dette volumet skal unormale hendelser kunne håndteres med utslipp innenfor grenser og referanseverdier. I det videre er to hendelser som krever bruk av den ledige kapasiteten vurdert, aktivitet i kjølevannet og forhøyet aktivitet i sinkvannet. Andre tanker som holder på flytende avfall, for eksempel dumpetanker i eksperimentalkretser, er ikke vurdert, da det er ingen sikkerhetsmessige forhold knyttet til disse som fører til krav om ledig kapasitet.

##### *Aktivitet i kjølevannet*

Ved en aktivitetskonsentrasjon i kjølevannet som vil føre til overskridelse av referanseverdiene som oppgitt i avsnitt 2.1.2, vil kjølevannsmengden bli redusert til et minimum og kan om nødvendig stenges helt av. Vannet kan også samles i waste pit og bli pumpet derfra til delaytank 3 for rensing over til delaytank 2. Kapasiteten til rensesystemet er 2 – 2.5 m<sup>3</sup>/time, som betyr at man kan ha et tilsvarende forbruk av kjølevann uendelig framover.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 71 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

#### *Aktivitet i sinkvann*

Ved en aktivitetsøkning i sinken vil vannet dirigeres til waste pit. Videre kan vannet pumpes til delaytank 3 for rensing til delaytank 2 hvor rensingen har en flow på 2 – 2.5 m<sup>3</sup>/time. Dersom kjølevann til sink stenges av er dette tilstrekkelig til å ta hånd om vannet.

#### *Fleksibilitet av systemene*

Det er full fleksibilitet i systemet og vann kan overføres mellom alle tanker.

#### *Vedlikehold og deteksjon av lekkasje*

Inspeksjon av delaytank 1 skjer hvert annet år og delaytank 2/3 inspiseres hvert femte år. Eventuelle lekkasjer vil oppdages raskt siden tankene står fritt i et rom hvor ansatte kommer daglig for å hente inn vannprøver fra tankene. Det er regelmessig inspeksjon av waste pit. En eventuell lekkasje vil oppdages som en økning av aktiviteten av Cs-137 i sinkvannet.

### **5.2.6 Måling av utslipp**

Overvåkingen av utslippet og den rutinemessige prøvetakingen er beskrevet i avsnitt 6.2. I det etterfølgende beskrives bare prøvetakingen og analysene som er grunnlaget for måling av utslippet. Dersom ikke annet er spesifisert vil usikkerheter være angitt med et 95 % konfidensintervall.

#### *Det kontinuerlige utslipp over delaytank 1*

Hver virkedag tas det en prøve på en liter av vannet som passerer delaytank 1. Tre ganger pr uke analyseres prøven for tritium og gammaemittere. Tritiumkonsentrasjonen sammen med måling av vannmengden som passerer tanken, gir utslipp av tritium.

Ved å studere variasjonene i den målte tritiumkonsentrasjonen i delaytank 1 i perioder med ingen ekstraordinære utslipp av tritium til vann, er det kommet fram til at disse prøvene bestemmer gjennomsnittskonsentrasjonen av tritium i forsinkelsestanken i perioden mellom prøvetakingene med en usikkerhet mindre enn 50 % (95 % konfidens) [35]. Med antagelse om ingen systematiske døgnvariasjoner, medfører dette en usikkerhet mindre enn 5 % i det beregnede bidraget av tritium til et årsutslipp.

Prøvene fra delaytank 1 over en måned blir samlet og dampet inn hver for seg og tørrstoffet analyseres for gammaemittere og Sr-90, som sammen med måling av vannmengden over en måned gir utslippet. For å kunne detektere Sr-90 måles denne nukliden på tørrstoffet samlet over et halvår. Aktiviteten til de detekterte nuklidene multipliseres med en faktor 1,3 for å korrigere for tap av aktivitet under inndampingen [36].

Som for tritium er det antatt at den største usikkerheten er knyttet til målingenes avvik fra gjennomsnittskonsentrasjonen i forsinkelsestankene. I tillegg kommer usikkerheten i korreksjonsfaktoren og det er estimert at samlet usikkerhet i fastsettelse av et årsutslipp av disse nuklidene er 6 – 8 % [35].

#### *Andre utslipp*

De daglige prøvene fra delaytank 1 representerer det kontinuerlige utslippet og utslipp fra garderobe. Andre tilskudd av kontaminert vann til delaytanken, som nevnt i avsnitt 5.2.1.2, tas det egne prøver av, som gamma analyseres og måles for tritium, og vannet slippes til delaytanken først etter godkjenning av strålevernavdeling. Disse tilskuddene legges sammen med resultatet fra de månedlige analysene som da gir det samlede utslipp i løpet av en måned. Vannprøver fra vaskeritanken dampes inn gjennom 6 måneder og analyseres for Sr-90 med hjelp av en væskescintillator.

Den største usikkerheten i utslippet fra vaskeritanken ligger i usikkerheten knyttet til nivåmåleren i tanken samt telleusikkerheten i gammaanalysen. Telleusikkerheten beregnes av programvaren Genie 2000 som ett standardavvik. Denne er nuklide- og prøveavhengig, men ligger på rundt 1-15 %. Usikkerheten i utslippet knyttet til usikkerheten for nivåmåleren ligger på rundt 1 %.

Usikkerheten i den samlede aktiviteten fra disse andre utslippene i løpet av ett år er vurdert til 1 % [35].

### 5.2.7 Utslippskontroll

Basert på utslippsstatistikken i perioden 01.01.2018 – 01.05.2019, er det, som angitt i avsnitt 2.1.2, spesifisert referanseverdier for utslippet. For utslipp til vann representerer referanseverdien 0,1  $\mu\text{Sv}/\text{år}$  til utsatt gruppe som er praktisk forenklet til 0,002  $\mu\text{Sv}$  i løpet av en uke fra utslipp fra sink, metlab kjeller, avfallstunnel og vaskeri og 0,001  $\mu\text{Sv}$  i løpet av ett år fra andre utslipp til vann. Disse verdiene er videre brukt som grunnlag til å utlede operative grenseverdier i  $\text{MBq}/\text{m}^3$  for de enkelte nuklider i utslippet [37], og som blir benyttet i den praktiske kontrollen av utslippet. Foruten referanseverdiene, bygger de operative grenseverdiene på volumene av utslippene fra de forskjellige kildene, kapasiteten til de forskjellige rensesystemene og en gjennomsnittlig fordeling av dosebidraget fra de forskjellige nuklidene.

Knyttet opp mot de operative grenseverdiene ligger så aksjoner som er spesifisert i de enkelte prosedyrene som styrer den rutinemessige prøvetakingen, se avsnitt 0. Disse er forskjellig for det kontinuerlige utslippet over delaytank 1 og andre utslipp. For det kontinuerlige utslipp innebærer aksjonene gjerne gjentakelse av prøvetaking og analyse, varsling, gransking og tiltak for å begrense utslippet, mens overskridelse av operativ grenseverdi for andre utslipp resulterer normalt i krav om ytterligere rensing.

### 5.2.8 Utslippsmengder

I utslippsgodkjenningen er begrensning på effektiv dose til personer i utsatt gruppe satt til 1  $\mu\text{Sv}/\text{år}$  for utslipp til vann. Utslippet til vann består først og fremst av tritium, men også små mengder andre nuklider. Tabell 28 viser gjennomsnittlig volum fra de forskjellige kildene i perioden 2014 til 2018 mens Tabell 29 gir statistikk over utslippene i samme periode. Det oppgis kun langlivede nuklider da reaktoren er permanent nedkjørt.

Tabell 29 viser at aktivitetskonsentrasjonen i utslippet ut av delaytank 1 varierer fra 10 – 30  $\text{Bq}/\text{ml}$  for tritium, mens den normalt er i størrelsesorden 0,002 - 2  $\text{Bq}/\text{liter}$  for andre nuklider. Etter at utslippet har forlatt delaytank 1 blandes det med kjølevannet, slik at konsentrasjonen som blir sluppet ut i elva er 1 – 5  $\text{Bq}/\text{ml}$  for tritium og mindre enn 0,5  $\text{Bq}/\text{liter}$  for andre nuklider.

Tabell 28. Totalt utslippsvolum ( $\text{m}^3$ ) i perioden 2014 - 2018

|                      | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Kontinuerlig utslipp | 51250  | 48605  | 39825  | 20656  | 23535  |
| Kjølevann            | 350000 | 350000 | 263000 | 114240 | 267700 |
| Andre utslipp        | 390    | 201    | 816    | 254    | 281    |



Tabell 29: Utslippsverdier i perioden 2014 – 2018. Gjennomsnittlig årlig utslipp, standardavvik, minimum og maksimum for perioden og samme for spesifikk aktivitet over forsinkelsestankene basert på utslippsvolumene gitt i Tabell 28. Kortlivede nuklider (Cr-51, jodisotoper osv.) som ikke lenger er aktuelle er ikke med i oversikten.

| Nuklide | Årsutslipp (Bq/år) |               |         |          | Spesifikk aktivitet (Bq/g) |               |         |          |
|---------|--------------------|---------------|---------|----------|----------------------------|---------------|---------|----------|
|         | Gjennomsnitt       | Standardavvik | Minimum | Maksimum | Gjennomsnitt               | Standardavvik | Minimum | Maksimum |
| H-3     | 6.6E+11            | 3.1E+11       | 2.9E+11 | 1.1E+12  | 1.8E+01                    | 4.4E+00       | 1.2E+01 | 2.2E+01  |
| Co-60   | 1.1E+07            | 5.1E+06       | 4.5E+06 | 1.8E+07  | 2.9E-04                    | 8.3E-05       | 1.9E-04 | 4.0E-04  |
| Sr-90   | 2.9E+06            | 2.1E+06       | 1.1E+06 | 5.9E+06  | 7.4E-05                    | 3.4E-05       | 2.8E-05 | 1.2E-04  |
| Ag-110m | 6.1E+05            | 5.1E+05       | 5.0E+04 | 1.4E+06  | 1.6E-05                    | 1.3E-05       | 2.1E-06 | 3.6E-05  |
| Cd-109  | 3.1E+05            | 1.6E+05       | 1.1E+05 | 4.5E+05  | 8.0E-06                    | 1.8E-06       | 5.1E-06 | 9.8E-06  |
| Cs-134  | 2.0E+06            | 1.6E+06       | 4.1E+05 | 4.6E+06  | 5.2E-05                    | 2.8E-05       | 1.7E-05 | 9.1E-05  |
| Cs-137  | 4.2E+07            | 2.1E+07       | 1.8E+07 | 7.4E+07  | 1.1E-03                    | 3.3E-04       | 7.6E-04 | 1.5E-03  |
| Ce-144  | 6.2E+05            | 7.1E+05       | 6.7E+04 | 1.8E+06  | 2.4E-05                    | 3.6E-05       | 2.9E-06 | 8.7E-05  |

### 5.2.8.1 Utslipp av plutonium- og americiumisotoper

Man kan på flere måter sannsynliggjøre at utslipp av disse nuklidene er svært begrenset, og i det etterfølgende er vist til fire forskjellige argumentasjoner:

- Sammenligning med nuklidefordeling i brensel*

I følge C. C. Lin [38] er aktinider hovedsakelig på ikke-vannløselig form i en reaktors primærsystem. Med antagelse om at forholdet mellom disse nuklidene og andre ikke-vannløselige nuklider (Zr-95, Ru-103, Ce-141, Ce-144) er uforandret gjennom hele kjeden fra brensel til utslipp kan utslippet av plutonium og americium beregnes på grunnlag av beregninger av aktivitetssinnhold i brensel og målte utslipp av de andre ikke-vannløselige nuklidene. Aktivitetsberegning av brenselet er utført med en gjennomsnittsutbrenning på 20 MWd/kg U, og gjennomsnittlig årlig utslipp er beregnet til å være mindre enn 1 kBq for Pu-238, mindre enn 2 kBq for Pu-239,240 og mindre enn 0,1 kBq for Am-241.
- Bruk av standard nuklidefordeling i reaktorens primærsystem*

Basert på en standard fordeling av  $\alpha$ -aktivitet mellom Cm-242, Cm-244, Pu-238+Am-241 og Pu-239,240 og et standard forhold mellom total  $\alpha$ -aktivitet og aktiviteten til de ikke-vannløselige nuklidene Zr-95 og Ru-103, C. C. Lin [38], vil en normalkonsentrasjon av plutonium- og americiumisotoper i reaktorens primærkrets være mindre enn 1 Bq/ml. Dersom man antar at forholdet mellom de beregnede konsentrasjoner av disse nuklidene og målte konsentrasjoner av andre ikke-vannløselige nuklider (Zr-95, Ru-103) er den samme i primærkrets som i utslippet til vann, vil gjennomsnittlig årlig utslipp bli mindre enn 3 kBq både for Pu-239,240 og Pu-238+Am-241.
- Fra målinger av aktivitetsskonsentrasjon i sediment ved tidligere utslippspunkt i Tista*

Både Pu-238 og Pu-239,240 er målt i sediment ved tidligere utslippspunkt i Tista. Det viste seg at konsentrasjonen av Co-60 og Cs-134 i sedimentene korrelerte med målt utslipp i den nærmeste tiden før prøvetakingen [39]. Dersom vi antar at standard sediment likevektsfaktorer for ferskvann reflekterer den relative kapasiteten nuklidene har til sedimentering, kan utslippet av plutoniumisotopene beregnes på grunnlag av de målte aktivitetsskonsentrasjoner i sediment og utslippet av Co-60 og Cs-134. Med denne metoden er gjennomsnittlig årlig utslipp av både Pu-238 og Pu-239,240 beregnet til å være mindre enn 1 kBq.

|           |                  |                                                                                        |                |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span> | Side 74 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|

#### 4. Fra målinger av slam fra forsinkelsestanker

I 1999 ble det foretatt gammalspektralanalyse og analyse av transuraner i slam etter rengjøring av forsinkelsestankene. Det ble detektert Am-241 i slammene og ved bruk av samme metode som ovenfor er utslippet av Am-241 i 1999 beregnet til mindre enn 0,1 kBq.

Basert på ovenstående er det derfor meget sannsynlig at årlig normalutslipp av plutonium- og americiumisotoper er mindre enn 5 kBq. Effektiv dose til utsatt gruppe fra et utslipp på 5 kBq av Pu-239,240 eller Pu-238 er beregnet til  $5 \cdot 10^{-7}$   $\mu$ Sv, mens dose fra et tilsvarende utslipp av Am-241 er beregnet til  $6 \cdot 10^{-7}$   $\mu$ Sv.

Et utslipp i denne størrelsesorden representerer en gjennomsnittlig aktivitetskonsentrasjon i vannutslippet på 0,1 Bq/m<sup>3</sup>. Til sammenligning oppgir International Organization for Standardization (ISO) deteksjonsgrensen for måling av gross alfa ved bruk av standard metoder til å være fra 20 - 100 Bq/m<sup>3</sup> [40]. Det finnes derfor ingen realistiske metoder til å måle et utslipp i den størrelsesorden.

#### 5.2.8.2 Utslipp av I-129

En vurdering som bygger på beregnet aktivitet av I-129 i brenselet i reaktorkjernen, konsentrasjon av forskjellige målbare jodisotoper i primærvannet som andel av beregnet aktivitet av disse i brenselet, og utslipp av de målbare jodisotopene, gav et utslipp av I-129 til vann på 7 Bq i året [41].

### 5.3 Behandling av avfall i gassform

Avfall i gassform eller som forurenset luft blir generert ved gjennomføring av eksperimenter og ved andre prosesser som innebærer håndtering av brensel eller sterkt forurensete materialer. Disse avfallsstrømmer behandles for å redusere utslipp til luft. Hovedelementer i behandling av kontaminerte gasstrømmer er forsinkelse og filtrering.

#### 5.3.1 Kilder til avfall i gassform

Utslipp av radioaktive stoffer til luft fra reaktoranlegget i Halden skjer via ventilasjonen fra reaktorhall, brenselbunkerbygning og metallurgisk laboratorium. Utslipet består av tritium og Kr-85.

Hovedkildene til avfall i gassform er (se forøvrig avsnitt 4.3.2 og 5.3.2):

- Lekkasje i gjennomføringene på reaktortankklokke. Gjennomføringene er ikke 100 % tette og med en reaktor i permanent nedkjørt tilstand vil lekkasjen være < 20 ml/time. Lekkasjen fører med seg både tritium og Kr-85 og luftes av direkte til ventilasjonen før filter 13.
- Andre lekkasjer i primærkretsen. Bortsett fra reaktortankklokke er lekkasje fra primærsystemet svært lite, og det er bare enkeltvis utslipp denne veien
- Gass som avluftes over off-gas system
  - Kr-85 fra rekombineringsystemet
  - Kr-85 eller tritium fra eksperimentale støttesystemer

All luft fra ventilasjonssystemene blir filtrert gjennom partikkel- og kullfiltre. Utslippskanalene overvåkes kontinuerlig og en økning i aktivitetskonsentrasjonen gir alarm i kontrollrommet og utslippsreducerende tiltak vil eventuelt bli iverksatt. Som beskrevet i avsnitt 4.3.2 vil en økning i ventilasjonen ut av reaktorhallen føre til en automatisk avstenging av inneslutningen. Forøvrig forekommer utslipp fra brenselbunkerbygning og metallurgisk laboratorium sjeldent. Disse utslippene er svært små, og muligheten for et større utslipp er meget begrenset.

#### 5.3.2 Behandling av gassavfall

Figur 20 og

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 75 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

Figur 21 viser hvordan kildene til radioaktivitet i gassform ledes til utslipp som beskrevet i det etterfølgende.

### 5.3.2.1 Behandling av gassavfall fra Reaktorhallen

For reaktoren og de tilknyttede eksperimentalkretser eksisterer det flere systemer som håndterer forurensede luftstrømmer og gass med den hensikten å redusere eventuelle utslipp. Systemene tillater forsinkelse og rensing av forurensede luftstrømmer før de blandes med annet ikke-forurensede luftstrømmer. Både detektering av aktivitet og rensing av luftstrømmen blir mer effektiv når det utføres på begrensede luftstrømmer, før de blandes med andre luftstrømmer i utgående ventilasjonskanalen. De viktigste systemer er diskutert i det følgende.

#### *Gassforsinkelse og -oppsamlingssystem(off-gas)*

Fisjongs-gasser i primærkrets, ledes fra høy- og lavtrykksrekombinering gjennom en forsinkelsestank (17m<sup>3</sup>) der gassene desintegrerer før de blir ført til ventilasjonskanalen via et kullfilter. Gasstrømmen til tanken er svært lav, ca. 4 NI/time. Fra forsinkelsestanken slippes gassen til hovedventilasjonskanalen hvor den passerer fin-, absolutt- og kullfiltre. Dersom aktivitetskonsentrasjonen tilsier det, kan gassene føres fra forsinkelsestanken til off-gas systemet hvor de monitoreres av gammamonitorer, renses gjennom kullfiltre og holdes igjen for desintegrasjon. Dette gjøres for å kunne rens den forurensede luften, før den blandes med annen ventilasjonsluft fra inneslutningen. En detaljert beskrivelse av systemet er gitt i 4.3.2.

Under drift av reaktoren ble gass fra brensel eller materialrigger normalt ledet inn i off-gas systemet. Gassen ble overvåket av gammamonitorer og det ble automatisk gjennomført rensing og forsinkelse gjennom flere kullsenger om gassen skulle være spesielt aktiv. På den måten separerte systemet radioaktive og ikke radioaktive gasser ved at ikke radioaktive gasser ble sluppet rett ut i atmosfæren uten rensing, mens radioaktive gasser ble rensert og forsinket gjennom kullsenger og forsinkelsestank.

Gass fra eksperimentalkretser og dumpetanker som ble ansett som ren ble aktivt kjørt utenom forsinkelsessystemet for på den måten å unngå at den rene gassen skulle forskyve aktiv gass som sto til desintegrasjon i systemet, ut i ventilasjonskanalen.

#### *Gassoppsamlingssystem for primærkrets (GCS)*

Ved tidligere oppkjøring av reaktoren ble trykket på primærsystemet holdt oppe med heliumgass for å beskytte hovedpumpen. Avlastning av dette trykket dro med seg fisjongs-gasser, og ved trykkavlastning ble overskuddsgassen pumpet til tanker og for enten å bli benyttet om igjen, eller ført til ventilasjonen etter at fisjongs-gassene var nesten fullstendig desintegrert (ca. 50 dager). Systemet ble også benyttet for avlastning av trykket etter at reaktoren var nedkjørt.

#### *Kondensering av fuktighet i utslipp fra primærsystemet.*

På alle utslippslinjer fra primærsystemet (fra lagringstank, avlufting inn på gass forsinkelsessystem eller gass oppsamlingssystem) er det montert kjølefeller som kondenserer ut fuktighet i luft og dermed fjerner tritium fra luftstrømmen. Kondensatet blir ført tilbake til primærsystemet.

#### *Ventilering ved brenselshåndtering*

Ventilasjonsystemet for brenselshåndtering skaper et undertrykk i kompartementet og fuel coffin og hindrer spredning av gasser eller kontaminert luft ut i reaktorhallen. Luften passerer først et grovfilter (Fi400/403), deretter et kullfilter (Fi401/404) og et finfilter (Fi402/405) for fjerning av aktivitet før utslipp til ventilasjonskanalen før hovedfilteret.

|           |                  |                                                                                        |                |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span> | Side 76 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|

### 5.3.2.2 Behandling av gassavfall fra Fuel bunker building (FBB) og Metallurgisk lab (Metlab)

Ventilasjonen i FBB består av to vifter som automatisk veksler om å gå. Luften i rommet passerer først et grovfilter/finfilter samt et kullfilter for fjerning av aktivitet før utslipp til friluft. Ved normal aktivitet i FBB slippes det ut svært små mengder radioaktive gasser.

Metlab benyttes til arbeid med brensel og materialprøver samt til lagring av rigger uten brensel. Det er kun håndtering av brensel eller annet kontaminert materiale som kan gi en kontaminert luftstrøm i Metlab og slikt arbeid vil alltid bli utført i kompartementet. Andre arbeidsoperasjoner som kan gi kontaminert luft utføres i FBB.

Kompartementene i Metlab og fuel coffin ventileres av to vifter som opererer vekselvis. Viftene skaper et undertrykk i kompartementene og hindrer spredning av gasser eller kontaminert luft ut i rommet. Luften fra kompartementene passerer først et grovfilter (Fi59), deretter et kullfilter (Fi58) og et finfilter (Fi56) for fjerning av aktivitet før utslipp til friluft. Ved normal aktivitet i Metlab slippes det ut svært små mengder radioaktive gasser.

### 5.3.3 Måling av utslipp

En rekke metoder og målerutiner, som alle er underlagt strålevernavdelingens kvalitetssikringssystem, blir benyttet for måling av utslipp av radionuklider til luft. I det etterfølgende er de forskjellige metodene beskrevet og usikkerheten i målingene er diskutert. Dersom ikke annet er spesifisert, vil usikkerhetene være angitt med et 95 % konfidensintervall.

#### *Tritium*

Tre ganger pr. uke tas en utfrysingsprøve av fuktighet i utgående ventilasjonskanal fra reaktorhallen. Tritiummengden bestemmes ved væskescintillasjonsanalyse, og tritiumkonsentrasjonen i utgående luft beregnes. Utslipet i perioden mellom to prøvetakinger beregnes som gjennomsnittet av de to målingene av tritiumkonsentrasjonen, multiplisert med den totale luftmengde som har gått gjennom ventilasjonskanalen. Alle utslipp utover gjennomsnittet registreres med den kontinuerlige overvåkingen med gassmonitører, og utslippet blir beregnet separat ved integrasjon av gassmonitoravlesningen.

Usikkerheten i fastsettelse av årsutslippet har vært vurdert [42]. Det viser seg at den samlede usikkerheten i andelen av årsutslippet som er beregnet fra gjennomsnittskonsentrasjonen i ventilasjonskanalen blir mindre enn 5%, mens usikkerheten i andre utslipp, som utgjør mindre enn 5% av årsutslippet, er 10%. Et rimelig estimat av usikkerheten i det samlede årsutslippet av tritium vil derfor være 8%. Det viser seg forøvrig at det beregnede utslippet de siste årene stemmer svært godt med det registrerte tapet av tungtvann fra primærkretsen.

#### *Kr-85*

Kr-85 og tritium i ventilasjonskanalen fra reaktorhallen overvåkes av to gassmonitører, og signalene lagres hvert minutt i en databank. Et PC-program benyttes til integrasjon av gassmonitorlesningen. Bidraget fra tritium vil utgjøre et basisnivå på gassmonitørene, se ovenfor. Resterende avlesning kommer fra Kr-85 og tritium som i perioder er høyere enn basisnivået. Etter at reaktoren ble kjørt ned for godt ble tidligere standardfordeling av edelgasser [42] justert for desintegrasjon utover våren i 2018 ved fastsettelse av utslippet. Etter 12.04.18 er det vurdert at alle kortlivede edelgasser er neglisjerbare og utslippet vil bestå av bare Kr-85 og tritium. Videre er andelen Kr-85 i utslippet utover basisnivået vurdert til å være uforandret fra fordelingen under stopp når reaktoren var i drift. Det betyr at standardfordelingen av tritium og Kr-85 for utslipp over basisnivået av tritium, er 99,5 % tritium og 0,5 % Kr-85.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 77 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

Estimat av usikkerhet i fastsettelse av årsutslippet bygger på usikkerhet i [42]:

- gassmonitoravlesning
- Kr-85 effektivitetsfaktor for gassmonitor
- andelen av avlesningen på gassmonitoren som består av tritium

Samlet sett gir dette en usikkerhet på 40 % i utslippsverdien for Kr-85.

#### *Annen aktivitet*

Luft fra utgående ventilasjon fra reaktorhall og brenselbunker samles på papirfiltre, og strålingen fra filterene er kontinuerlig overvåket. Filteret fra reaktorhall skiftes ukentlig og måles for alfa-aktivitet og gammaemittere, mens filteret fra brenselbunker skiftes og måles etter behov.

I tillegg ble det benyttet kullpatroner for måling av jodisotoper på utgående luft fra reaktorhall (Fi32 og Fi34), brenselbunker og kompartementene i metallurgisk laboratorium. Disse ble tidligere analysert ukentlig.

### **5.3.4 Utslippskontroll**

Basert på utslippsstatistikken i perioden 2001 til 2009, er det, som angitt i avsnitt 2.1.2, spesifisert referanseverdier for utslippet fra reaktorhallen. Disse verdiene er videre brukt som grunnlag til å utlede operative grenseverdier i MBq/m<sup>3</sup> for henholdsvis tritium, edelgasser og jodisotoper [37], og som blir benyttet i den praktiske kontrollen av utslippet. Etter at reaktoren ble kjørt ned for godt består alt utslipp av tritium og Kr-85 og de operative grenseverdiene er justert for det.

Knyttet opp mot de operative grenseverdiene ligger så aksjoner, som for eksempel gjentagelse av prøvetaking og analyse, varsling, gransking og tiltak for å begrense utslippet. Dette er spesifisert i de enkelte prosedyrene som styrer den rutinemessige prøvetakingen, se avsnitt XX.

### **5.3.5 Utslippsmengder**

Reaktoren ble permanent nedkjørt 24.02.2018 og det er derfor forholdsvis kort erfaring med utslippene til luft for denne situasjonen. En gjennomgang av utslippene fra 01.06.2018 (når bidraget til utslippet av kortlivede nuklider var opphørt) og fram til 01.06.2019 gav et gjennomsnittlig månedlig utslipp på 528 GBq tritium og 1,9 GBq Kr-85 med standardavvik på henholdsvis 214 og 0,5 GBq. Ved å anta gjennomsnittet pluss 3 standardavvik over 12 måneder gir det et maksimalt årsutslipp på 1,17 TBq tritium og 3,4 GBq Kr-85. Den tilsvarende gjennomsnittlige månedlige dosen til utsatt gruppe blir 0,036 µSv med et standardavvik på 0,015 µSv. Gjennomsnittet pluss 3 standardavvik for 12 måneder gir da en årtdose på 1 µSv. Der er derfor forventet at utslippene vil ligge under 1 % av dosegrensen på 100 µSv/år i tiden med permanent nedkjørt reaktor.

Gjennomsnittlig luftstrøm ut av reaktorhallen er ca. 5200 m<sup>3</sup>/time. Med verdiene ovenfor gir dette en maksimal tritiumkonsentrasjon i utslippsluften på ca. 0,3 MBq/m<sup>3</sup>, mens konsentrasjonen av Kr-85 er mindre enn 1kBq/m<sup>3</sup>.

Det har aldri vært påvist alfaaktivitet med overvåkingen med papirfiltre. Mens reaktoren var i drift ble det målt jodisotoper og det ble i tillegg (1 – 3 ganger i året) detektert Cs-137 som omregnet til luftkonsentrasjon var i størrelsesorden 0,0005 Bq/m<sup>3</sup>. Det er imidlertid vanskelig å kvantifisere et eventuelt utslipp av Cs-137 til omgivelsene, spesielt siden inntaket for luften over filteret tas rett utenfor hovedfilteret i ventilasjonen, og det vil være en betydelig avsetning av aktivitet på innsiden av ventilasjonskanalen før luften går ut av pipa. Dette er bekreftet gjennom måling av kontaminering på innsiden av kanalen hvor det kan detekteres kontaminering av Cs-137 rett etter hovedfilteret, men ingen kontaminering i utløpet av pipa. Uansett vil et eventuelt utslipp ikke ha noen konsekvens.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 78 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

Med antagelse om ingen avsetning i ventilasjonskanalen ville f. eks. utslippet av Cs-137 til luft i 2018 vært 5,7 kBq.

### 5.3.6 Krav til systemets kapasitet, fleksibilitet og reservesystemer

Under normale forhold vil filter og rensesystemene som beskrevet ovenfor være tilstrekkelige. Det er et krav at også spesielle forhold som en brenselssfeil i reaktoren kan håndteres av off-gas systemet. Ved et slikt tilfelle vil mengden av Kr-85 og aktivitet på flyktig form øke betydelig. Det er to metoder for å begrense utslipp:

1. Stenge utslippsventil fra storagetank (VA830) og føre gass til off-gas systemet for rensing i kullsenger (langsom metode).
2. Pumpe gass fra storagetank til off-gas (PA6/PA8) for gjentatt rensing i kullsenger (rask metode).

Under disse forløp overvåkes gassen av monitorer (Mon7, Mon43) og slippes ikke ut i atmosfæren før aktiviteten har nådd ett akseptabelt nivå.

En lekkasje fra primærsystemet eller off-gas vil kunne oppdages av en monitor som overvåker luften i Reaktorhall (Mon 32).

Ved svikt i det automatiske styringssystemet til off-gas vil aktiv gass kunne slippe ut i hovedventilasjon. Lekkasjen vil oppdages ved alarm på monitor 19 og systemet for rensing kan styres manuelt.

### 5.3.7 Behandling av eksplosjonsfarlig gass

I primærsystemet dannes det hydrogen- og oksyngengass på grunn av strålingsindusert spalting av vann. Gassene «tappes» av fra primærsystemet og «brennes» i høy- og lavtrykks rekombineringsystemene. Produktene føres til draintank som igjen er ventilert til hovedventilasjon.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 79 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

## 6 Stråledoser

### 6.1 Allmennhet

Det er ingen kilder til direkte bestråling av allmennhet fra HBWR, se avsnitt 2.1.2, og eneste aktuelle eksponeringsveier er knyttet til utslipp av radioaktive stoffer til luft og vann.

I det følgende er beregningsmetoder for stråledose til allmennhet beskrevet. Disse metodene er grunnlaget for utslippsgodkjenningen fra DSA gjeldende fra 20. desember 2013.

#### 6.1.1 Doser fra utslipp til luft

##### *Eksponeringsveier*

Utslipp til luft fra Haldenreaktoren i permanent nedkjørt tilstand, vil bestå av tritium og Kr-85. De aktuelle eksponeringsveier er gitt i avsnitt 6.2 i HBWR-SAR-3:

- Ekstern stråling fra aktivitet i lufta
- Inhalasjon av aktivitet i lufta
- Dose i tilknytning til aktivitet som blir avsatt på bakken. Tre prosesser vil være dominerende:
  - Ekstern stråling fra avsatt aktivitet
  - Inhalasjon av resuspendert aktivitet
  - Konsum av kontaminerte matvarer

En mulig fjerde eksponeringsvei er betastråling fra aktivitet avsatt direkte på huden til mennesker. For normalutslippet vil dette bli neglisjerbart sammenlignet med doser fra ekstern stråling og inhalasjon.

Doserater fra ekstern stråling og inhalasjon, både fra den luftbårne og avsatte aktivitet, vil være avhengig av avstand fra reaktoranlegget, vindretninger og nedbør. For normalutslippet er nærliggende gårdsbruk kildene til kontaminerte matvarer fra en eventuell avsetning av aktivitet.

##### *Sprednings- og dosemodeller*

Sprednings- og doseberegninger er utført i samsvar med anbefalinger av EU [43]. For spredning i omgivelsene benyttes den semi-empiriske Gaussiske skymodell. Området rundt reaktoranlegget er inndelt i 12 sektorer (se figur 5 i HBWR-SAR-3) og det er antatt en konstant konsentrasjon i horisontal retning hver sektor. Frekvensen av vind inn i de forskjellige sektorer er gitt i avsnitt 3.1 i HBWR-SAR-3. For vertikal retning forutsettes en gaussisk fordeling av aktivitetskonsentrasjonen. Modellen tar videre hensyn til refleksjon fra bakken og blandingslag og reduksjonsprosesser som radioaktiv desintegrasjon og tørt og vått nedslag av aktivitet.

Luftstabilitet er angitt med Pasquill stabilitetskategorier og frekvensen av de forskjellige kategoriene er gitt i avsnitt 3.5 i HBWR-SAR-3. Det er benyttet standard vindhastigheter og høyde på blandingslag for de forskjellige kategorier, også gitt i avsnitt 3.5 i HBWR-SAR-3.

Doseberegninger er utført med programvaren PC-CREAM [44]. De viktigste forutsetninger er vist i Tabell 30. Detaljert beskrivelse med blant annet forutsetningene for beregning av kollektivdose er gitt i [45].

Tabell 30 Parametere benyttet ved beregning av dose til individ i utsatt gruppe

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Utslippshøyde            | 10 meter                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Deposisjonshastighet     | 0,02 m/s for jodisotoper, 0 for edelgasser                                                                                                                                                                                                                            |
| Utvaskingskoeffisient    | 0,0001 s <sup>-1</sup> for jodisotoper, 0 for edelgasser                                                                                                                                                                                                              |
| Ujevnhetslengde          | 0,3 meter                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Eksponeringsveier        | Inhalasjon av radionuklider<br>Ekstern $\gamma$ fra luftbårne radionuklider<br>Ekstern $\beta$ fra luftbårne radionuklider<br>Ekstern $\gamma$ fra avsatt aktivitet<br>Ekstern $\beta$ fra avsatt aktivitet<br>Inhalasjon av resuspendert aktivitet<br>Konsum av melk |
| Aldersgruppe             | Spebarn, 0 – 1 år                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Sektor, avstand          | Sektor X, 300 m                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Årlig konsum             | 320 liter melk + 45 kg melkeprodukter<br>Melk blir produsert i sektor XI, 4000 m                                                                                                                                                                                      |
| Inhalasjonsrate          | 1900 m <sup>3</sup> /år                                                                                                                                                                                                                                               |
| Oppholdstid              | Hele året                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Andel av tiden innendørs | 0                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Dosefaktorer for utslipp til luft er gitt i [45]. Som vist i avsnitt 5.3.5 er det forventet at dosene vil være under 1  $\mu\text{Sv}/\text{år}$  etter at reaktoren ble permanent nedkjørt, dvs. mindre enn 1 % av grensen på 100  $\mu\text{Sv}/\text{år}$ .

### 6.1.2 Doser fra utslipp til vann

#### *Eksponeringsveier*

I HBWR-SAR-3 avsnitt 7.1 er det vist at eneste eksponeringsveier fra utslipp til vann av betydning er konsum av egenfanget fisk fra Iddefjorden og opphold på strendene ved fjorden. For å beregne dosefaktorer for noen spesielle nuklider, som forøvrig har et neglisjerbart bidrag til den samlede dosen fra utslippet, må det også tas hensyn til opphold i båt og bading i Iddefjorden.

#### *Sprednings- og dosemodeller*

Sprednings- og doseberegninger er utført i samsvar med anbefalinger av EU [43]. All eksponering er knyttet til Iddefjorden og for beregning av spredning er det benyttet en boksmoell av fjordsystemet, se avsnitt 4.2 og figur 8 i HBWR-SAR-3. For beregning av kollektivdose er det benyttet en boksmoell av Skagerak og tilstøtende havområder med volumer og strømningsrater som anbefalt av EU. Modellene er detaljert beskrevet i [45].

Doser fra konsum av fisk er beregnet med multiplikativ metode av aktivitetskonsentrasjon i fjordvannet, bioakkumulasjonsfaktorer som angitt av IAEA [46] og dosefaktorer fra ICRP [47]. Doser er beregnet på grunnlag av et årlig fiskekonsum på 30 kg, alt fanget i Ringdalsfjorden (ytte del av Iddefjorden).

For doser på opphold på strender modelleres stranda som et semi-uendelig absorberende medium som anbefalt av EU. Doserater er redusert med en faktor 5 for å ta hensyn til at strender ved Iddefjorden er både smale og korte, også det som anbefalt av EU. Aktivitetskonsentrasjoner av stranda bygger på vann – sediment likevekts konsentrasjonsfaktorer fra IAEA og, som anbefalt av EU, er konsentrasjonen redusert med en faktor 10 for å ta hensyn til den mer grovkornede sanden en finner på strender sammenlignet med fint mudder som er et resultat av sedimentering. Det er videre antatt at utsatt gruppe har et årlig opphold på 200 timer på strendene langs fjorden.



|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 81 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

Doser fra bading og opphold i båt benyttes faktorer fra [48]. Det er antatt at utsatt gruppe bader 50 timer i året og oppholder seg 1000 timer i året i båt.

Dosefaktorer for utslipp til vann er vist i [45]. Sammenlignet med utslippet som er angitt i avsnitt 5.2.8 vil dose til utsatt gruppe normalt ligge godt innenfor begrensingen gitt i utslippsgodkjenningen, som vist i Tabell 31 for perioden 2014 til 2018.

Tabell 31 Effektiv dose fra utslipp til vann til personer i utsatt gruppe ( $\mu\text{Sv}$ ) i perioden 2014 - 2018

| År   | Dose ( $\mu\text{Sv}$ ) |
|------|-------------------------|
| 2014 | 0,002                   |
| 2015 | 0,002                   |
| 2016 | 0,002                   |
| 2017 | 0,0009                  |
| 2018 | 0,0005                  |

## 6.2 Yrkeseksponering

### 6.2.1 Doserater på kontrollerte områder

Anleggsområder hvor det er mulig å bli utsatt for strålingsnivåer og som krever individuell dosemonitorering, er klassifisert som kontrollert område, se avsnitt 4.1. De kontrollerte områdene der det er størst sannsynlighet for å få en dose er reaktorhall og brenselbunker/metallurgisk laboratorium.

Strålevernavdelingen har daglig doseoppfølging av det mest stråleutsatte personellet og gjennomfører rutinemessige kontaminerings- og strålingsmålinger på alle kontrollerte områder som angitt i avsnitt 2.4.1. Tabell 32 viser en oversikt over doseratene på kontrollerte områder.

Tabell 32. Doserater på kontrollerte områder

| Område                                | Doserate (μSv/t) |
|---------------------------------------|------------------|
| Over roterende skive                  | 50-70            |
| Generelt i indre del av reaktorhallen | 30-80            |
| Generelt i ytre del av reaktorhallen  | 5-40             |
| 1.underetasje                         | 150-600          |
| 2.underetasje                         | 100-1000         |
| Sinken                                | 150-400          |
| Metallurgisk laboratorium             | 10-50            |
| Brenselsbunker                        | 20-100           |
| Høye rommet                           | 10-50            |
| Vaskeriet                             | 1-3              |
| Kjemilaboratoriene                    | 0,2-2            |
| Tunnel                                | 2-1000           |
| Olavshallen                           | 0,2-1            |
| Waste rom                             | 10-100           |
| Rensekrets rom                        | 2-30             |
| Delaytank rom                         | 0,2-50           |
| Hemsen                                | 5-200            |
| Kapperom                              | 10-230           |

### 6.2.2 Forventede doser fra ekstern stråling

Hoveddelen av stråledosene akkumuleres ved arbeid i reaktorhallen under håndtering og vedlikeholdsarbeider. Andre kontrollerte områder som det arbeides kontinuerlig gjennom hele året er metallurgisk laboratorium, vaskeriet og kjemilaboratoriene. Tabell 33 viser en oversikt over gjennomsnittlige doserater, antall timer for diverse arbeid på kontrollerte områder og den avledete årlige dosen. Grunnlaget for tallene er registrerte doser og timer for de forskjellige arbeidsoppgavene i perioden 2013 til 2017.

Som det fremgår av tabellen gitt under, er det arbeid i reaktorhallen som gir de høyeste dosene. Det er to lag med håndteringspersonell, ett for håndtering i reaktorhallen og ett som jobber med interiminspeksjoner i metallurgisk laboratorium. Mekanisk personell tar seg av alle vedlikeholdsoppgaver på anlegget.

Tabell 33 Gjennomsnittlige doserate, antall timer og resulterende gjennomsnittlig årlig dose for arbeid i kontrollerte området, basert på registrerte doser i perioden 2013 - 2017

| Arbeidsoppgave                         | Gj.snitt doserate (μSv/t) | Gj.snitt antall timer pr.person pr.år | Gj.snitt dose (mSv) |
|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| Håndtering i reaktorhall               | 31                        | 500                                   | 15,5                |
| Interim inspeksjon i metlab            | 12                        | 695                                   | 8,3                 |
| Diverse mekanisk arbeid i reaktorhall  | 45                        | 110                                   | 5,0                 |
| Arbeid på primær rensekrets            | 85                        | 6                                     | 0,5                 |
| Avfallshåndtering                      | 35                        | 100                                   | 3,5                 |
| Diverse elektrisk arbeid i reaktorhall | 38                        | 95                                    | 3,6                 |
| Arbeid på vaskeriet                    | 0,2                       | 650                                   | 0,1                 |
| Arbeid på kjemilaboratoriene           | 1,0                       | 1000                                  | 1,0                 |

### 6.2.3 Inhalasjonsdoser

Enkelte vedlikeholdsjobber på anlegget gir utslipp av tritium til arbeidsluften, for eksempel inngrep på primærkretsen og helium-3 systemet. Slike arbeider blir alltid overvåket av stråleverningeniør og arbeidsluften blir monitorert med gassmonitor. I etterkant av slike jobber blir alltid eventuelle tritiumopptak fulgt opp. Dose fra inntak av tritium bestemmes fra tritiumkonsentrasjonen i urin, se avsnitt 2.5.2. Tabell 34 viser en oversikt over antall personer som har mottatt en tritiumdose større eller lik registreringsgrensen på 0,1 mSv og høyeste effektive dose i perioden 2014 til 2018.

Tabell 34 Årlig tritiumdose for personell som arbeider på kontrollerte områder i perioden 2014 - 2018

| År                             | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| Antall personer $\geq 0,1$ mSv | 14   | 22   | 29   | 13   | 4    |
| Høyeste effektive dose (mSv)   | 0,7  | 1,2  | 1,1  | 0,7  | 0,2  |

### 6.2.4 Fastsettelse av dosebegrensing

Ved hver revidering av HBWR-SAR-12 bør også 12 måneders dosebegrensingen bli revidert, se avsnitt 2.1.2 og 2.8.5. Denne revideringen bygger på dosestatistikk de seneste årene, se Tabell 33 for en oversikt. Tabellen viser reelle gjennomsnitts doserater og tidsbruk, slik at ved en perfekt fordeling av arbeidet vil dosene fra de forskjellige arbeidsoppgavene kunne holdes på gjennomsnittsdosene i tabellen.

En dosebegrensing må balansere to motstridende forhold. Ved en for høy dosebegrensing hvor det er lite sannsynlig at individdoser overskrider begrensingen, vil incentivet til å presse dosene ned bli borte og begrensingen vil ikke lenger fungere etter hensikten. Motsatt vil en for lav dosebegrensing føre til at det blir umulig å unngå overskridelser for forholdsvis mange av individdosene, som fører til at respekten for dosebegrensingen reduseres og den vil på det grunnlaget også slutte å fungere etter hensikten. På den bakgrunnen benyttes følgende for å fastsette en realistisk dosebegrensing [49]:

- Utviklingen av 10 % kvantil av lognormalfordelingen av 12-månedersdosene
- Utviklingen av registrerte maksimum 12-månedersdoser
- Utviklingen av gjennomsnittet av de fem høyeste 12-månedersdoser

Det er ikke gjennomført en revisjon av dosebegrensingen ved denne oppdateringen av HBWR-SAR-12. Årsaken er at ansattes doser i perioden etter at reaktoren ble kjørt ned for godt, vil avvike svært mye fra den som kan forventes i den framtidige dekommisjoneringsperioden. I tillegg er det begrenset med dosedata til statistiske vurderinger.

|           |                  |                                                                                        |                |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: <span style="background-color: black; color: black;">[REDACTED]</span> | Side 84 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|

## 7 Konklusjon

### 7.1 Konsekvenser for befolkning

I avsnitt 6.1 vises det at doser til utsatt gruppe i befolkningen som følge av utslippene referert til i avsnitt 5.2.8 og 5.3.5 ligger godt innenfor dosegrenser gitt av myndighetene. En rekke utslippsreducerende systemer benyttes, som angitt i avsnittene 5.2.4 og 5.3.2.1. Videre benyttes et system med referanseverdier for å kontrollere utslippene og holde de så lave som rimelig mulig.

### 7.2 Konsekvenser for ansatte

I avsnitt 4.2 kommer det fram at de aller fleste strålekilder på anlegget er tilstrekkelig skjermet til at dosegrenser kan overholdes ved normal arbeidsbelastning. Spesielt gjelder dette reaktorkjernen, lagre for brukt brensel og skjerming som har betydning ved håndtering av brukt brensel og høyt strålende komponenter. For enkelte komponenter i primærkretsen og i noen eksperimentalkretser er doseraten forholdsvis høy utenfor skjerm, som vist i avsnitt 4.2.4 og 4.2.5. Dette har likevel liten betydning for stråledosene siden kildene er plassert i områder hvor det normalt ikke foregår arbeid.

I avsnitt 6.2.2 vises det at doserater på kontrollerte områder og tidsbruken i områdene er slik at dosegrenser for yrkeseksponerte kan overholdes under normale forhold også når inhalasjonsdoser er inkludert som vist i avsnitt 6.2.3.

I avsnitt 6.2.2 kommer det imidlertid fram at spesielt dosene til personell som arbeider med brenselshåndtering i reaktorhall er forholdsvis høye. Årsaken er en generelt høy doserate (rundt 30  $\mu\text{Sv}/\text{time}$ ) i området hvor arbeidet pågår, som sammen med høy tidsbruk vil føre til høye doser. Doseraten i området blir jevnlig kontrollert og tiltak for reduksjon iverksettes på en rutinemessig basis, se avsnitt 2.4.1. Videre blir tidsbruken planlagt slik at den enkelte skal kunne holde seg under gjeldende dosebegrensning for 12-månedersdosen. Etter at reaktoren ble permanent nedkjørt vil også bidraget til dosen fra strålingen fra brenselet som håndteres bli redusert. I tillegg vil det være mulig å redusere den generelle doseraten i området ved demontering av noen eksperimentalsystemer. Det er derfor forventet at dosebegrensingen over tid vil kunne reduseres og at dette vil føre til en reduksjon av de høyeste dosene.

### 7.3 Oppsummering

Med unntak av forhøyede doserater i noen områder hvor det normalt ikke utføres arbeid, og forholdsvis høy doserate i området i reaktorhallen hvor det foregår håndtering, er kriteriene og referanseverdiene som er spesifisert i strålevernsprogrammet oppfylt. Stråleeksponering av personell og allmennhet er dermed så lav som rimelig mulig ved normal drift av HBWR. Periodisk gjennomgang og revisjon av programmet med tilhørende revidering av dosebegrensing og utslipps referanseverdier vil også sikre en fortsatt reduksjon av stråledosene.

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 85 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

## 8 Referanseliste

- [1] IAEA, Safety of Research Reactors, Specific Safety Requirements No. SSR-3, (2016)
- [2] IFE, Prinsipper for Strålevernsarbeidet ved Institutt for energiteknikk, Administrativt vedtak 052, (2018)
- [3] Helse- og omsorgsdepartementet, Forskrift om strålevern og bruk av stråling (strålevernforskriften), FOR 2016-12-16-1659 FOR-2018-12-20-2193 fra 01.01.2019, (2018)
- [4] Klima- og miljødepartementet, Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall, FOR-2010-11-01-1394, FOR-2018-12-20-2092 fra 01.01.2019, (2018)
- [5] Statens strålevern, Brev av 5. mai 2009, 2008/01156/352.4/TSE, (2009)
- [6] Statens strålevern, Tillatelse TU13-37 etter forurensningsloven for håndtering av radioaktivt avfall og utslipp av radioaktive stoffer, Institutt for energiteknikk, Halden, 20. desember 2013, (2013)
- [7] IAEA, Occupational Radiation Protection, General Safety Guide No. GSG-7, (2018)
- [8] IAEA, Predisposal Management of Radioactive Waste from Nuclear Power Plants and Research Reactors, Specific Safety Guide No. SSG-40, (2016)
- [9] Arbeids- og sosialdepartementet, Forskrift om organisering, ledelse og medvirkning, FOR 2011-12-06 nr. 1355, (2011)
- [10] IFE, Analyseinstrumenter – kalibrering og funksjonstesting, QA-RPI-097, (2017)
- [11] IFE, Spesifikasjoner over analyseinstrumentering og håndholdte instrumenter, QA-RPI-140, (2018)
- [12] Delacroix D., Guerre J. P., Leblanc P. and Hickman C., Radionuclide and radiation protection data handbook 2002, Radiation Protection Dosimetry, Vol.98 No.1 (2002)
- [13] Walderhaug T., Måling av dose til øyelinse, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 1128, (2019)
- [14] ICRP, Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers: Design and Interpretation, ICRP Publication 54, Vol. 19, No. 1-3, (1988)
- [15] ICRP, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP Publication 66, Vol. 24, No. 1-3. (1994)
- [16] IFE, Kvalitetshåndbok for strålevernavdeling i Halden, QA-013-no, (2016)
- [17] Solvang, A., IFEs Forbedringsarbeids håndbok, IFE 10 20 90 (2019)
- [18] Skogstad, U. F., Sentral prosedyre – Interne revisjoner ved IFE, Institutt for energiteknikk, 10/10/20, (2015)
- [19] Croff A.G., A User's Manual for the ORIGEN2 Computer Code, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-7175, July 1980

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 86 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

- [20] Gauld I.C., Bowman S.M. and Horwedel J.E., ORIGEN-ARP: Automatic Rapid Processing for Spent Fuel Depletion, Decay, and Source Term Analysis, ORNL/TM-2005/39, Version 6.1, (2011)
- [21] Stammler, R.J.J. et al., HELIOS documentation on the version-1.8, ssp-03/220, Rev., November 2003
- [22] Heide, K., Isotopic composition in driver fuel after a burnup of 20 MWd/kgU, Institutt for energiteknikk, CP-Note 05-12, May 2005
- [23] Grove Software, MicroShield, Version 10.XX, User's Manual, radiationsoftware.com (2014)
- [24] Eitrheim K., Estimat av aktivitetsinnhold og ekstern stråling fra radioaktive kilder ved HBWR, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 848, (2010)
- [25] Moen, L.A., Beregning av LN-NP for det metalliske uranbrenselet fra første lasting av HBWR, Institutt for energiteknikk, CP-Note 04-29, (2004)
- [26] Moen, L.A., Beregning av LN-NP for brenselet fra andre lasting av HBWR, Institutt for energiteknikk, CP-Note 04-30, (2004)
- [27] Moen, L.A., Beregning av LN-NP for brenselet fra 59 stk. tredje-lastings brenselementer, Institutt for energiteknikk, CP-Note 04-32, (2004)
- [28] Moen, L.A., Beregning av LN-NP for fjerde-lastings brenselementene S01 t.o.m. S14 fra HBWR, Institutt for energiteknikk, CP-Note 04-31, (2004)
- [29] Eitrheim, K., Aktivitetsestimat av kontaminering og tritium i Steam Transformer B, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 718, (2007)
- [30] Laastad, O.F., Aktivitetsestimat for kontaminering og tritium i Steam Transformer A, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 723, (2007)
- [31] Eitrheim, K., Estimat for aktivitet ved HBWR ved dekommisjonering, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 823, (2010)
- [32] IFE, Beskrivelse av fastmonterte strålevernmonitorer, QA-RPI-126 (2018)
- [33] Walderhaug, T., Innhold av alfaaktivitet i radioaktivt avfall fra driften av HBWR v3, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 1088, (2018)
- [34] Walderhaug T., Nuklidefordeling for fast radioaktivt avfall ved HBWR i 2019, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 1161, (2019)
- [35] Eitrheim K., Utslipp fra drift av Haldenreaktoren i 2006, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 693, (2007)
- [36] Eitrheim K., Inndampingsforsøk høsten 2008, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 850, (2010)
- [37] Walderhaug T., Revisjon av operative grenseverdier for kontroll av utslipp fra drift av HBWR, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 1165, (2019)

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: ██████████ | Side 87 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

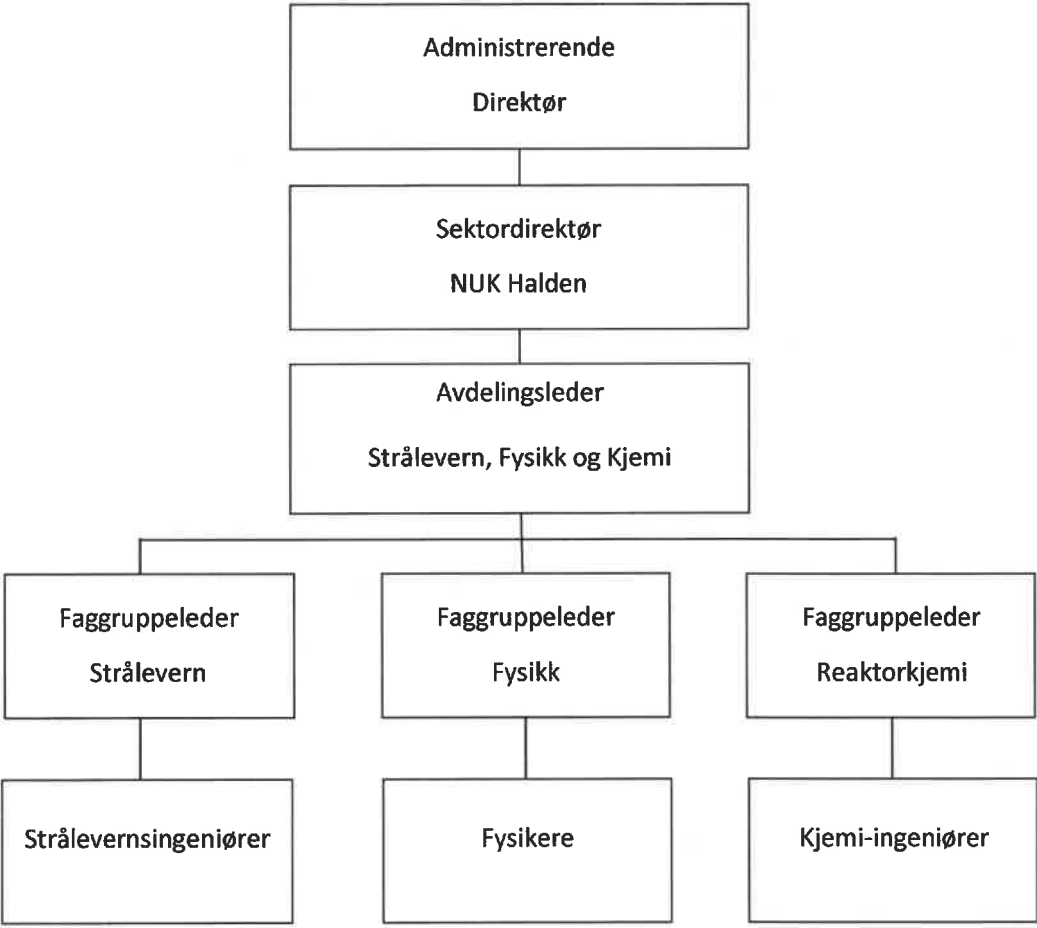
- [38] C. C. Lin, Radiochemistry in Nuclear Power Reactors, Nuclear Science Series, NAS-NS-3119, National Academy Press, Washington DC, (1996)
- [39] A. H. Eggen, Måling av radioaktivitet i miljøprøver fra området rundt Haldenreaktoren i 2005, IFE, OECD Halden Reactor Project, Sv-rapport 665, (2006)
- [40] ISO, Water quality – Measurement of gross alpha activity in non-saline water – Thick source method, International Organization for Standardization, International Standard 9696, Geneva, (1991)
- [41] Walderhaug T., Utslipp av I-129 til omgivelsene ved drift av Haldenreaktoren, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 540, (2003)
- [42] Walderhaug T., Standardfordeling for fisjonsgasser i VAO, instrumentfaktorer for monitor 19 og usikkerheter i bestemmelse av utslippet til luft, Institutt for energiteknikk, Sv-notat 1111, (2014)
- [43] Simmonds, J. R., Lawson, G. og 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)
- [44] PC-CREAM, National Radiological Protection Board, EUR 17791 EN (NRPB-SR296), United Kingdom (1997)
- [45] Nordhei C, Walderhaug T., Stråledoser fra utslipp av radioaktive nuklider fra driften av HBWR under normale driftsforhold, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 872 (2012)
- [46] IAEA, Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment, International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series, No. 422, (2004)
- [47] ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, International Commission on Radiological Protection, Publ. 72, Annals of the ICRP, Vol. 26, No. 1, (1996)
- [48] Hunt G. J., Simple models for prediction of external radiation exposure from aquatic pathways, Rad. Prot. Dos, 8, (4), 215, (1984)
- [49] Walderhaug, T., Metoder for fastsettelse av 12 måneders dosebegrensning for ansatte ved HBWR og gjeldende dosebegrensning fra 2012, Institutt for energiteknikk, Sv-rapport 891 (2012)

## 9 Figurliste

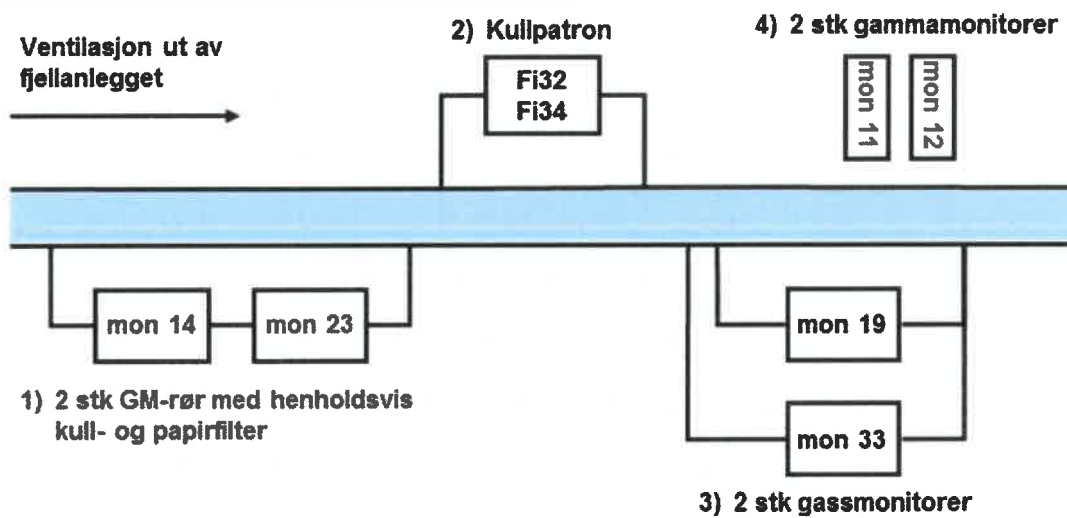
|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figur 1 Organisering av avdeling for Strålevern, Fysikk og Kjemi ved HBWR .....                       | 89  |
| Figur 2 Forenklet skisse av system for monitorering og måling av utslipp til luft i reaktorhall ..... | 90  |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 91  |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 92  |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 93  |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 94  |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 95  |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 96  |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 97  |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 98  |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 99  |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 100 |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 101 |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 102 |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 103 |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 104 |
| [REDACTED] .....                                                                                      | 105 |
| Figur 18 Behandling av fast avfall.....                                                               | 106 |
| Figur 19 Behandling av flytende avfall .....                                                          | 107 |
| Figur 20: Behandling av gassavfall fra reaktorhall.....                                               | 108 |
| Figur 21: Behandling av gassavfall fra Fuel Bunker Building og Metallurgisk laboratorium .....        | 109 |



**10 Figurer**



Figur 1 Organisering av avdeling for Strålevern, Fysikk og Kjemi ved HBWR



Forenklet skisse av system for monitorering og måling av luftutslipp fra reaktorhallen:

- 1) Måling av partikkelbåren aktivitet.
- 2) Måling av partikkelbåren aktivitet
- 3) Monitorering av tritium og edelgasser,
- 4) Overvåking av gammaemittere

Figur 2 Forenklet skisse av system for monitorering og måling av utslipp til luft i reaktorhall

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 91 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|



|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 92 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

[REDACTED]

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 93 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

[REDACTED]

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 94 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

[REDACTED]

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 95 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

[REDACTED]

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 96 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

[REDACTED]



|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 97 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

[REDACTED]

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 98 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

[REDACTED]

|           |                  |                            |                |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 99 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|----------------|

[REDACTED]

|           |                  |                            |                 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 100 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|

[REDACTED]

|           |                  |                            |                 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 101 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|

[REDACTED]

|           |                  |                            |                 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 102 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|

[REDACTED]

|           |                  |                            |                 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 103 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|

[REDACTED]

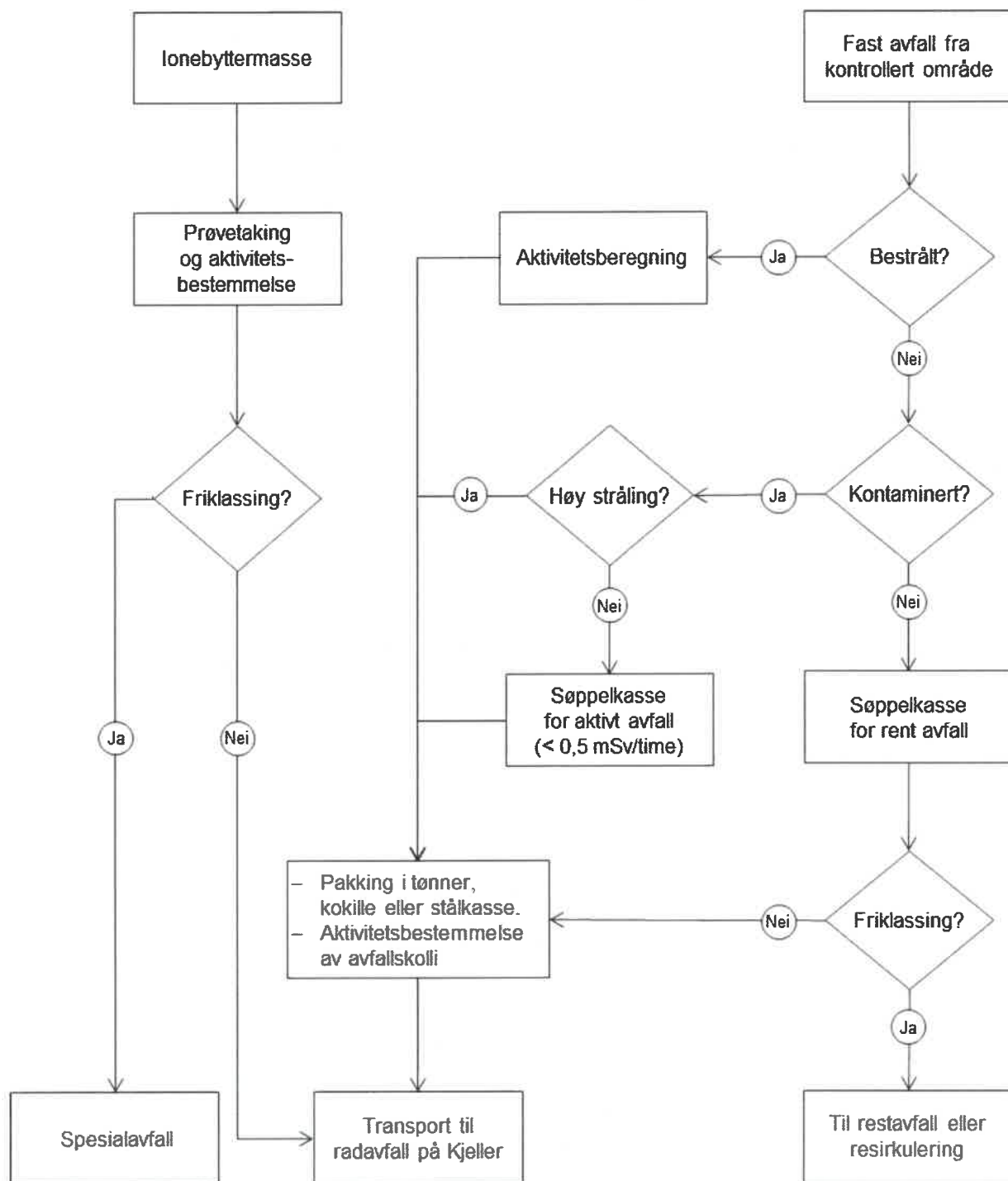
|           |                  |                            |                 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 104 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|

[REDACTED]

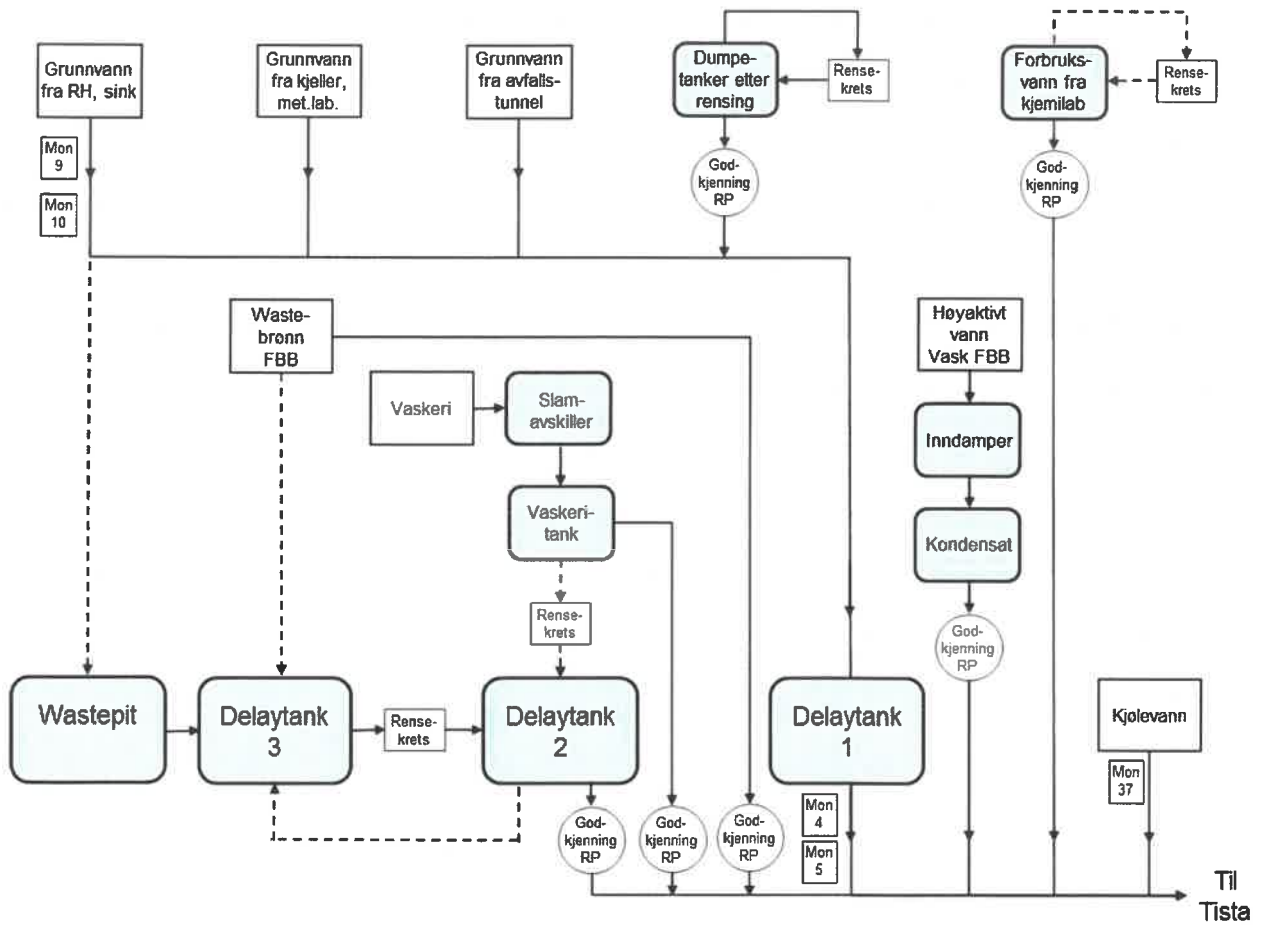


|           |                  |                            |                 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 105 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|

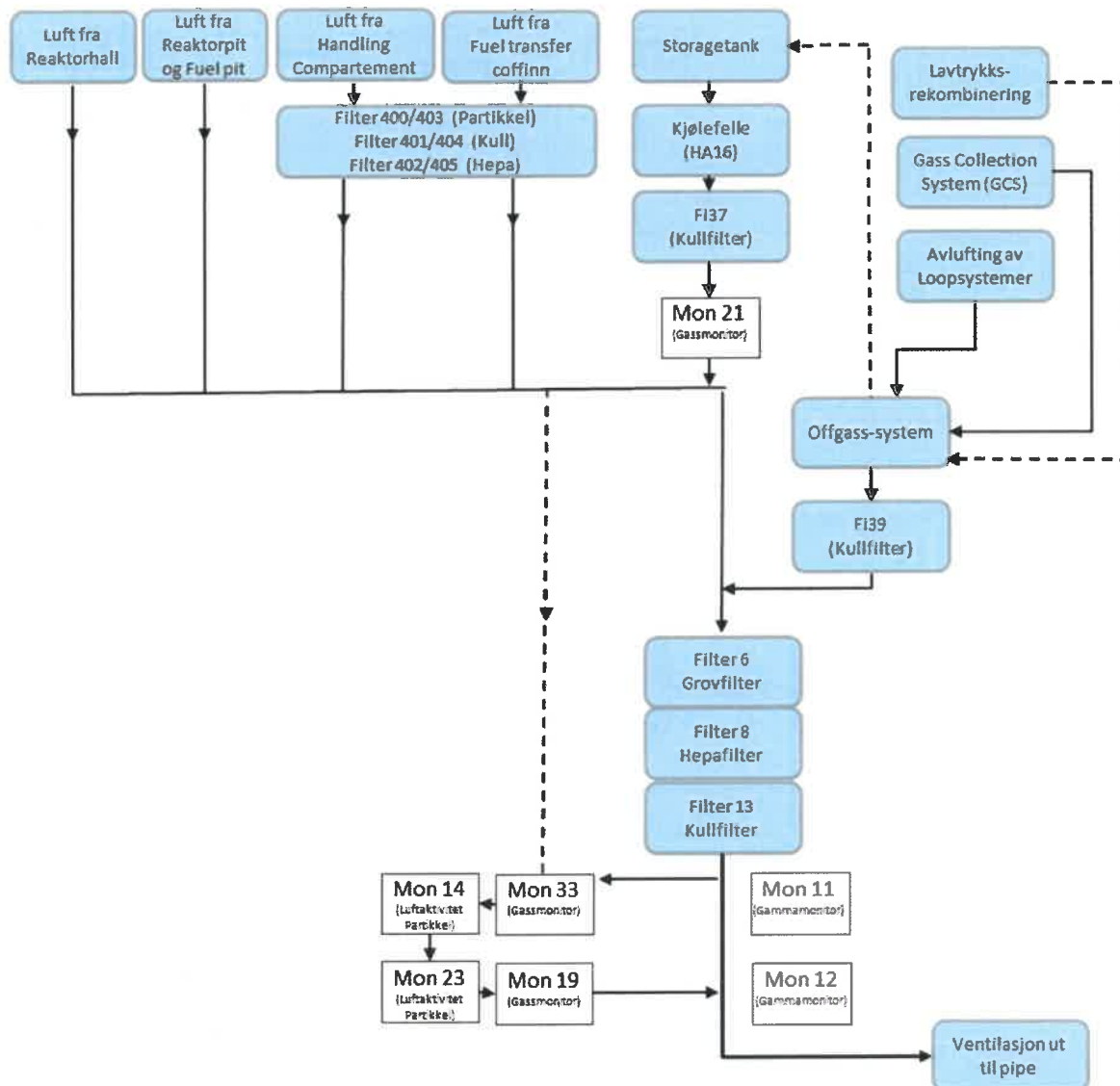
[REDACTED]



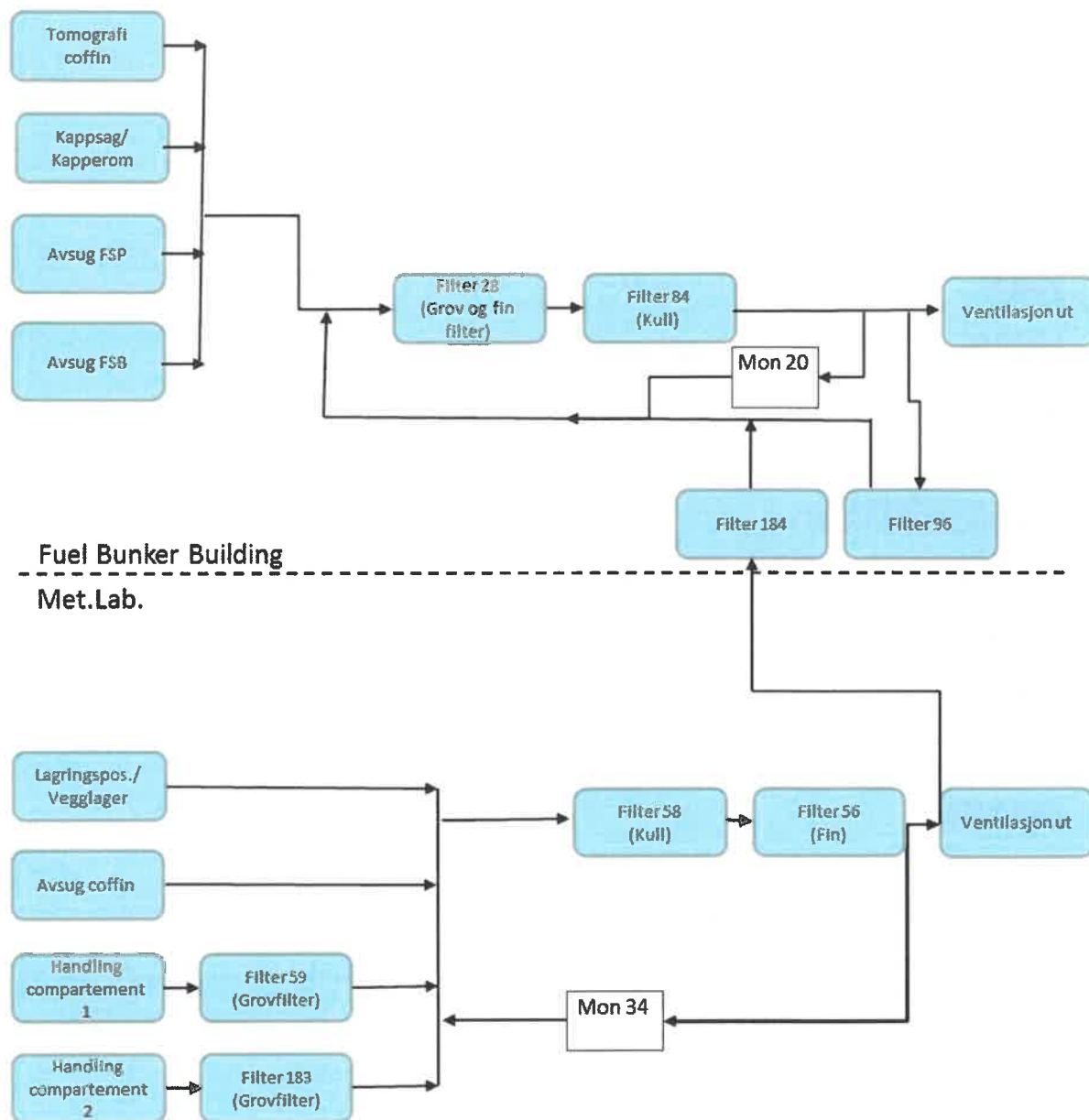
Figur 18 Behandling av fast avfall



Figur 19 Behandling av flytende avfall



Figur 20: Behandling av gassavfall fra reaktorhall



Figur 21: Behandling av gassavfall fra Fuel Bunker Building og Metallurgisk laboratorium

|           |                  |                            |                 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|
| DOCUS-ID: | Dato: 10.12.2019 | Klassifisering: [REDACTED] | Side 110 av 110 |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|

## 11 Signaturer

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]