

AUGUST 2016
DANSK DEKOMMISSIONERING

SIKKERHED, ØKONOMI OG DRIFT FOR EN DANSK MELLEMLAGERLØSNING FOR RADIOAKTIVT AFFALD

RAPPORT

AUGUST 2016
DANSK DEKOMMISSIONERING

SIKKERHED, ØKONOMI OG DRIFT FOR EN DANSK MELLEMLAGERLØSNING FOR RADIOAKTIVT AFFALD

RAPPORT

PROJEKTNR.

A079528

DOKUMENTNR.

100

VERSION

2

UDGIVELSESDATO

August 2016

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

LISA/TFI

KONTROLLERET

JMN/CASK

GODKENDT

LISA

INDHOLD

1	Baggrund og formål	7
2	Principper for beskyttelse af mennesker og miljø	10
2.1	Beskyttelse af mennesker og miljø	10
2.2	Beskyttelse af fremtidige generationer	11
2.3	Acceptkriterier	11
3	Affaldstyper, -mængder og aktivitet	13
3.1	Konditionering af affaldet	19
4	Grundlag for estimering af økonomi og drift	21
4.1	Specifikation af faciliteter på mellemlageret	21
4.2	Drift af mellemlageret	28
5	Økonomioverslag	31
5.1	Indledende udgifter	31
5.2	Engangsudgifter	32
5.3	Driftsudgifter	34
5.4	Lukning og dekommissionering	36
5.5	Samlede udgifter	37
6	Indledende sikkerhedsevaluering	38
6.1	Mellemlager	39
6.2	Slutdepot	49
7	Sammenligning af løsning med og uden mellemlager	51
7.1	Sikkerhed	51
7.2	Økonomi	55

BILAG

Bilag A Situationsplan

Bilag B Evalueringsproces

Bilag C Ordliste

1 Baggrund og formål

I 2003 besluttede Folketinget - sammen med beslutningen om at afvikle de nukleare anlæg på Risø - at der skulle udarbejdes et beslutningsgrundlag for et dansk slutdepot. (Folketingsbeslutning B48, Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling, 2003).

Beslutningsgrundlaget, der var færdigt i 2008 (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2008), beskriver de fundamentale sikkerheds- og miljømæssige principper for depotet samt retningslinjer for processen omkring etableringen. Det er en forudsætning, at det radioaktive affald deponeres på dansk grund. Det eksisterende affald omfatter affald fra 50 års forskning og drift på Risø, affald fra afviklingen af de nukleare anlæg og affald fra resten af Danmark, f.eks. industri, hospitaler og lærestudier.

I januar 2009 blev en redegørelse om beslutningsgrundlaget for et slutdepot forelagt Folketinget (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2009), hvorefter tre parallelle forstudier blev igangsat, varetaget af hhv. Dansk Dekommissionering, GEUS (De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland) og SIS (Strålebeskyttelse i Sundhedsstyrelsen, tidl. Statens Institut for Strålebeskyttelse).

I maj 2011 blev konklusioner og anbefalinger fra forstudierne præsenteret for repræsentanter fra Folketingets partier (Dansk Dekommissionering (DD), De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) & Sundhedsstyrelsen, Statens Institut for Strålebeskyttelse (SIS), 2011), hvorefter hovedrapporter og resumé blev offentliggjort. Forstudierne omfattede bl.a. foreløbige sikkerhedsanalyser og udpegede 22 – og anbefalede seks - mulige områder til placering af depotet.

Næste fase i slutdepot-sporet omfattede områdestudier i de seks anbefalede mulige områder omfattende supplerende borer og en opgørelse af særlige forhold, f.eks. fortidsminder og områdereservationer, som kan have betydning for valget af placering (Gravesen et al., 2012). Derudover er der gennemført miljøvurderinger (VVM) af de seks områder (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse & Rambøll, 2014) og afholdt tilknyttede borgermøder i perioden marts til maj 2014.

Efter færdiggørelsen af områdestudierne blev det besluttet, at en løsning med etablering af et mellemlager før etableringen af et slutdepot skulle undersøges yderligere. Mellemlagerstudierne igangsattes i 2014 og Beslutningsgrundlag for et dansk mellemlager for lav- og mellemaktivt affald blev færdiggjort i februar 2015 (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2015b). Efterfølgende blev det politisk besluttet, at muligheden med etablering af et mellemlager skulle undersøges yderligere i studier omfattende lokalisering, sikkerhed, økonomi og drift¹.

På den baggrund gennemføres to studier relateret til en mellemlagerløsning:

- > Et indledende sikkerhedsstudie, der inkluderer et studie vedrørende den til et mellemlager tilknyttede drift og økonomi.
- > Et studie om lokaliseringskriterier for et mellemlager, som gennemføres af GEUS.

I beslutningsgrundlaget af februar 2015 er det beskrevet, at der ikke som led i mellemlagerstudierne skal udføres generiske sikkerhedsstudier:

"Der skal foretages sikkerhedsanalyser og -vurderinger, som overordnet demonstrerer, at kravene om beskyttelse af mennesker og miljø mod skadelige virkninger af ioniserende stråling er overholdt. Der vil ikke blive foretaget generiske sikkerhedsanalyser, men kun lokalitetsspecifikke sikkerhedsanalyser og -vurderinger med inddragelse af relevante konklusioner fra slutdepotforstudierne." (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2015b, s. 74 – 75)

Studiet vedrørende sikkerhed er således en indledende evaluering af forskelle og ligheder i sikkerheden af henholdsvis 1) et mellemlager med efterfølgende slutdepot og 2) et slutdepot, for hvilket der foreligger generiske sikkerhedsstudier. Det er i forbindelse med udbuddet af opgaven fremhævet, at meget af det materiale, som skal anvendes i studierne, allerede vil være eksisterende og tilgængeligt, idet man dog ønsker at relevante internationale erfaringer inddrages.

Grundlaget for studiet vedrørende drift og økonomi er i udgangspunkt beskrivelsen i beslutningsgrundlaget af februar 2015 af, hvilke delelementer et mellemlager skal omfatte, samt de retningslinjer, som det skal være baseret på.

Nærværende rapport beskriver resultaterne af disse to studier.

¹ I henhold til præamblen til Rådets direktiv 2011/70/Euratom er oplagring af radioaktivt affald, herunder langtidsopbevaring, en foreløbig løsning, men ikke et alternativ til deponering. I de fleste europæiske lande, som ikke allerede har et depot, er der da også ved at blive etableret eller planlagt slutdepoter for lav- og mellemaktivt affald.

Kapitel 2 giver en kort sammenfatning af de grundlæggende principper for beskyttelse af nuværende og fremtidige generationer mod radioaktiv stråling samt deres udmøntning i konkrete kriterier, der ligger til grund for både forslaget om indretning af et mellemlager samt de indledende sikkerhedsevalueringer.

Kapitel 3 giver en oversigt over affaldstyper, - mængder og den dertil knyttede strålingsaktivitet (og dennes forventelige udvikling over tid) samt beskriver omfanget af konditioneret affald, der ligger til grund for dimensioneringen af mellemlageret.

Kapitel 4 indeholder forslaget til omfang og indretning af mellemlageret samt dets drift. Det danner grundlag for både det økonomiske overslag og den indledende sikkerhedsevaluering samt sammenligningen af økonomisk overslag og sikkerhedsevaluering for en løsning omfattende først et mellemlager og dernæst et slutdepot med en løsning, der alene omfatter et slutdepot.

Kapitel 5 omfatter økonomioverslaget for et mellemlager (etablering, drift og afvikling).

Den indledende sikkerhedsevaluering og dens forudsætninger er beskrevet i Kapitel 6.

Sammenligningen af økonomi og sikkerhed for en løsning bestående af både et mellemlager og et slutdepot og en løsning alene bestående af et slutdepot findes i Kapitel 7.

Referencer til litteratur og hjemmesider anvendt i studiet findes i Kapitel 8.

Bilag 1 viser en skitse over en foreslået situationsplan for et mellemlager, Bilag 2 giver en oversigt over den i studiet anvendte evalueringsproces, herunder inddragelsen af internationale erfaringer, og Bilag 3 indeholder en ordliste over generelle begreber og forkortelser.

2 Principper for beskyttelse af mennesker og miljø

Nedenstående er en sammenfatning af IAEA's grundlæggende kriterier for strålebeskyttelse, som har tilslutning fra en lang række internationale organisationer (Fundamental Safety Principles, IAEA, 2006), samt hvorledes de foreslås udmøntet i konkrete acceptkriterier i nærværende studie.

2.1 Beskyttelse af mennesker og miljø

Radioaktivt affald skal håndteres, således at der sikres et acceptabelt niveau af beskyttelse af mennesker og miljø.

Enhver eksponering af mennesker skal holdes så lav som rimeligt opnåelig under hensyn til økonomiske og samfundsmæssige faktorer. Stråling kan skade alle levende væsener, ikke bare mennesker. Strålebeskyttelse indbefatter derfor også planter, dyr og miljøet i øvrigt. Et mellemlager skal udformes, så stråling ikke udgør en risiko mod den biologiske mangfoldighed. Der er i nærværende studie ikke foretaget en evaluering af dette, ligesom det heller ikke indgik i slutdepot-studierne.

For at beskytte mennesker og miljø fra den skadelige virkning af ioniserende stråling fra radioaktivt affald må affaldet isoleres fra omgivelserne. Dette opnås ved at benytte flere typer af barrierer.

Beskyttelse af arbejdstagere og lokalbefolkningen under såvel normal drift som i uheldssituationer reguleres via de relevante myndigheder, og der skal gennemføres målinger og øvrige passende foranstaltninger med henblik på strålebeskyttelse af de potentielt berørte grupper. Når der er tale om et nukleart anlæg i drift, som det er tilfældet med et mellemlager, skal der også træffes foranstaltninger mod uautoriseret fjernelse af nukleart materiale og sabotage². Dette vil omfatte både fysisk beskyttelse i form af design af mellemlageret og alarmsystemer samt udarbejdelse af beredskabsplaner og træning i disse.

² Dette vil også være tilfældet for f.eks. et overfladenært slutdepot, især hvis det er konstrueret reversibelt, hvorved affaldet vil være lettere tilgængeligt.

Håndtering af radioaktivt affald omfatter også miljøfarlige stoffer, som kan resultere i forurening. Med hensyn til disse stoffer bør der iagttages et niveau af sundheds- og miljøbeskyttelse, der svarer til kravene for andre aktiviteter, der indbefatter håndtering af miljøfarlige stoffer. Dette er ikke medtaget konkret i nærværende studie, da det vil komme an på de specifikke forhold på den konkrete valgte lokalitet. Det bør således vurderes i den sammenhæng.

2.2 Beskyttelse af fremtidige generationer

Radioaktivt affald skal håndteres således, at forudsigelige sundhedseffekter på fremtidige generationer ikke bliver større end tilsvarende niveauer af effekter, der er acceptable i dag. Ligeledes skal det sikres, at radioaktivt affald håndteres således, at der ikke pålægges fremtidige generationer urimelige byrder.

Hensynet til fremtidige generationer er af fundamental vigtighed ved håndtering af radioaktivt affald. Dette princip udspringer af en etisk interesse for de fremtidige generationers helbred og miljø samt et princip om, at den generation, der nyder fordel af egne gøremål, også bør bære ansvaret for at håndtere det resulterende affald. Intentionen er at skabe acceptabel sikkerhed for, at der ikke sker påvirkninger af menneskers helbred og af miljøet, som rækker ud over de beskyttelsesniveauer, der er gældende i dag.

Beliggenhed, indhold og indretning af et mellemlager til radioaktivt affald skal registreres og bevares på passende vis, så fremtidige generationer har fuld viden om forholdene i og omkring mellemlageret.

2.3 Acceptkriterier

De nukleare tilsynsmyndigheder (Strålebeskyttelse i Sundhedsstyrelsen og Nukleart Kontor i Beredskabsstyrelsen) har i Danmark udmøntet de ovenfor beskrevne principper for beskyttelse af mennesker og miljø i form af principper samt grænser for stråleudsættelse af ansatte og enkeltpersoner i befolkningen. I Sundhedsstyrelsens bekendtgørelse nr. 823 af 31. oktober 1997 om dosisgrænser for ioniserende stråling er fastsat følgende principper for begrænsning af stråledoser:

- > Berettigelse: Ved enhver anvendelse af ioniserende stråling skal fordelene opveje den forventede skadevirkning af strålingsudsættelsen.
- > Optimering: Alle retfærdiggjorte strålingsdoser skal holdes så lave, som det med rimelighed kan opnås under hensyntagen til økonomiske og samfundsmæssige forhold (As Low As Reasonably Achievable, ALARA, (ICRP, 2007)).
- > Dosisbegrænsning: Ingen personer må modtage effektive doser, der overstiger de i bekendtgørelsen fastsatte dosisgrænser (Grænse for effektiv dosis (helkropsbestråling)):
 - > Arbejdstagere over 18 år: 20 mSv pr. år

- > Enkeltpersoner i befolkningen: 1 mSv pr. år

Fordi dosisgrænsen er gældende for samtlige de kilder til radioaktiv dosis, den repræsentative person udsættes for, er det nødvendigt at afgøre, hvor stor en brøkdel af dosis, der kan tilskrives eksponering fra depotet. Her gives både kriterier for planlagt eksponering (forventede langtidseffekter) og eksponering som følge af uheld.

For medlemmer af offentligheden er i slutdepotstudierne (Dansk Dekommissionering, 2011) foreslået anvendt en dosisgrænse på 0,1 mSv pr. år i den operationelle fase, altså den fase hvor slutdepotet etableres og affaldet overføres til slutdepotet, samt de efterfølgende 30 år, hvor slutdepotet stadig forudsættes åbent for modtagelse af nyt affald. Denne værdi er i overensstemmelse med de krav, myndighederne i dag stiller til de nukleare anlæg på Risø-området, og svarer også til de tilsvarende generelle krav i f.eks. Holland for ikke-medicinsk relateret udsættelse for stråling (Besluit Stralingsbescherming, 2016).

Det foreslås, at disse kriterier også anvendes for mellemlageret i hele driftsperioden.

I slutdepotstudierne (Dansk Dekommissionering, 2011) er der for perioden efter lukningen af slutdepotet foreslået anvendt følgende kriterier:

- > Dosisgrænsen for medlemmer af offentligheden som følge af forventede og vedvarende udslip af radionuklider fra depotet foreslås fastsat til 0,01 mSv pr år.

Det er tilsvarende de nukleare tilsynsmyndigheder, der fastsætter værdien af en dosisbinding knyttet til potentielle uheldshændelser. I slutdepotstudierne (Dansk Dekommissionering, 2011) er det forudsat, at man som udgangspunkt for studierne opererer med en dosisbinding for uheldshændelser på 1 mSv pr. år. Denne dosisbinding foreslås derfor også anvendt i nærværende studie. Sammenlignet med den normalt anvendte dosisbinding på 10 mSv per uheld indeholder kriteriet på 1 mSv pr. uheld en sikkerhedsfaktor på 10 for at tage højde for den usikkerhed, der findes i datagrundlaget for disse typer generiske analyser, og er således udtryk for et forsigtighedsprincip.

3 Affaldstyper, -mængder og aktivitet

Affaldet kan inddeles i kategorier efter oprindelse:

- > Komprimeret lavaktivt fast affald (papir, plast, arbejdstøj, glas, metal m.v.)
- > Kasseret, radioaktivt udstyr
- > Restprodukt fra rensning af vand fra Risøs anlæg (bitumenindesluttet ind-dampnings-koncentrat, ionbytteraffald m.v.)
- > Kasserede radioaktive kilder (fra sundhedssektoren, forskning og industri)
- > Affald fra afvikling af de nukleare anlæg (dekommissioneringsaffald, især metaldele og beton)
- > Særligt affald, dvs. forskellige typer affald, der ikke har oprindelse i de øvrige kategorier. Det er f.eks. mindre stykker af bestrålet brændsel, som har været brugt til materiale-forskning, naturligt og forarmet uran, samt kerneopløsningen fra DR 1, en af de tidligere reaktorer.

Estimatet af den overordnede sammensætning af det samlede danske radioaktive affald efter dekommissionering af anlæggene på Risø-området har ikke ændret sig væsentligt siden opgørelsen i beslutningsgrundlaget for et slutdepot i 2008 (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2008, s. 14-17.). Der er dog sket mindre ændringer, f.eks. er 100 kg tungt vand afhændet.

Det danske radioaktive affald består af følgende typiske materialetyper:

- > Metal; f.eks. stål, aluminium, bly.
- > Beton
- > Brændbart driftsaffald så som handsker, plast, arbejdstøj osv.
- > Kilder, som er sammensat af et eller to radioaktive metaller

- > Bitumenaffald (slam indstøbt i asfalt)
- > PCB-holdigt affald
- > Uranholdigt affald (herunder både metallisk og ikke-metallisk uran).

Affaldet opbevares hovedsageligt i 210 liter stålromler³, 10-fods ISO-containere, i halv højde, og i Dansk Dekommissionerings specialfremstillede stålcontainere (2,12 x 1,47 x 1,39 m). Hertil kommer A-bøtter samt et mindre antal flasker; begge dele til opbevaring af særligt affald.

Affaldsmængden er senest opgjort i forbindelse med forstudierne til et slutdepot (Dansk Dekommissionering, 2011, kapitel 2 og 3) og siden opgørelsen er der ifølge Dansk Dekommissionering tilkommet 4 stk. jumbocontainere. Den samlede mængde af eksisterende affald, der danner grundlag for mellemlagerløsningen, vil således i omtrentlige mængder komme til at bestå af:

- > 125 stk. stålcontainere med L x B x H = 2,12 x 1,47 x 1,39 m på maks. 13 ton/stk.
- > 518 stk. ISO-containere med L x B x H = 3,00 x 2,50 x 1,30 m på maks. 23 ton/stk.
- > 4 stk. jumbocontainere med L x B x H = 3,13 x 3,13 x 2,13 m på maks. 100 ton/stk.
- > 5.500 stk. 210 l tromler med D x H = Ø59 x 80 cm på maks. 650 kg/stk.
- > ca. 250 stk. 280 l tromler med D x H = Ø63 x 93 cm på maks. 800 kg/stk. Der er tale om ompakkede 210 l tromler.
- > ca. 60 stk. enheder til særligt affald, i f.eks. A bøtter, som forudsættes opbevaret i en særlig betonenhed, se afsnit 4.1.4⁴.

Ud over de eksisterende affaldsmængder⁵ vil mellemlageret være åbent for tilfyldning af yderligere affald i hele mellemlagerets funktionsperiode (100 år). I dette studie forudsættes, at den fremtidige årlige affaldsmængde vil være aftagende i forhold til den nuværende, pga. mere omfattende tilbagesagningsaftaler, jf. beslutningsgrundlaget for et slutdepot (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2008).

Det fremtidige affald, der skal modtages i mellemlagerets 100-årige levetid, forudsættes emballeret som hidtil i 210 l betonforede tromler:

³ Nogle af disse er ompakket i 280 l stålromler.

⁴ Alternativt kan de pakkes i stålcontainere som forudsat i nogle af alternativene i slutdepotredøgørelsen. Det vil i givet fald dreje sig om ca. 30 stålcontainere.

⁵ Hvoraf noget som ovenfor nævnt endnu ikke er konditioneret, da dekommissioneringen ikke er tilendebragt. Antallet af beholdere er således et overslag.

- > Fremtidigt affald $8 \text{ m}^3/\text{år}$ i 100 år, svarende til 2.900 stk. 210 l tromler med $D \times H = \text{Ø}59 \times 80 \text{ cm}$ på maks. 650 kg/stk.

Ud over det ovenfor nævnte affald findes der affald, som jf. beslutningsgrundlaget for et mellemlager potentielt skal lagres. Det drejer sig bl.a. om 3670 ton uforarbejdet uranmalm (uran i naturlig bjergart). Uranmalmen er lavaktiv (indeholder ca. 400 ppm uran) og har en aktivitetskoncentration, der er ca. 200 gange højere, end hvad der naturligt forekommer i størstedelen af dansk jord (i gennemsnit 2 ppm uran) og ca. 100 gange højere end i bornholmsk grundfjeld (indeholder 4-5 ppm uran).

Malmen blev hentet fra Kvanefjeld i Grønland i forbindelse med uranekstraktionsprojekterne i 1970'erne og -80'erne, men er ikke blevet anvendt til forsøg. Malmen er som sådan ikke radioaktivt affald, da den anses som råstof. Det må derfor vurderes særskilt, hvordan malmen og den underliggende kontaminerede jord skal håndteres.

Det er endnu ikke besluttet, om malmen skal placeres i et eventuelt mellemlager. I nærværende studie er det forudsat, at malmen ikke skal placeres i mellemlageret.

Desuden opbevares affaldsmateriale fra, uranekstraktionsprojekterne i 1970erne og 1980erne, såkaldte tailings, i to særlige bassiner, der holdes vandmættede for at forhindre udsivning af den radioaktive gas radon. Tailings udgør ca. 600 m^3 , og bassinernes beton udgør omtrent 500 m^3 . Om denne type affald vil kunne langtidsmellemlagres sammen med det øvrige affald er tvivlsomt af hensyn til sikring af radonkoncentration i luften i en sådan mellemlagerbygning. Det er derfor forudsat i nærværende studie, at tailings ikke skal placeres i mellemlageret.

På nuværende tidspunkt er der heller ikke en endelig afklaring vedrørende den fremtidige håndtering af NORM-affald. Det danske NORM-affald stammer primært fra udvinding af olie og gas i Nordsøen. NORM-affald har generelt lav aktivitet. NORM-affaldet er forudsat ikke at blive placeret i mellemlageret og derfor heller ikke medtaget i vurderingerne i nærværende studie.

Affaldsmængderne kan enten angives som vægt eller volumen af selve affaldet eller som vægt/volumen af færdigkonditioneret affald. Ved konditioneret affald forstås, at affaldet er pakket og emballeret i en form, så det er egnet til at blive deponeret eller mellemlagret.

I forstudierne til et slutdepot blev de enkelte affaldstyper opgjort med tilhørende mængde, konditioneret volumen og aktivitet, se Tabel 3.1 og 3.2. (Dansk Dekommissionering, 2011, s. 13 - 14).

Klassificeringen i forhold til aktivitet er sket i henhold til Det Internationale Atomenergiagenturs (IAEA) anbefalinger til klassificering af affaldet (Classification of Radioactive Waste. IAEA Safety Standards. General Safety Guide No. GSG-1. IAEA Vienna (2009c)), som Danmark følger. I henhold til anbefalingerne klassificeres affaldet som henholdsvis lav- og mellemaktivt affald, kortlivet, og lav- og mellemaktivt affald, langlivet. Kortlivet affald har overvejende radioaktive isotoper med en halveringstid på under 30 år, mens det langlivede affald indeholder betydelige mængder af isotoper med en halveringstid på 30 år eller derover.

I forbindelse med slutdepotstudierne har Dansk Dekommissionering oplyst, at størstedelen af affaldstyperne 5, 6 og 7 forventes at kunne frigives (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2008, Appendiks A, note 3).

Tabel 3.1 *Estimerede mængder affald fra afviklingen, anslået bortskaffelsesvolumen og aktivitet i affaldet per 1. juni 2008 (Dansk Dekommissionering, 2011, s. 13 - 14 og side 25).*

Type	Affald	Vægt/ enheder	Volumen, Konditioneret (m ³)	Kortlivet β/γ- aktivitet (GBq)	Lang- livet β/γ- aktivitet (GBq)	Lang- livet α- aktivitet (GBq)
<i>Affald fra afvikling af DR1, DR2, og DR3</i>						
1	Grafit	17 t / 10 stålcontai- nere	39	4.000	120	
2	Aluminium	17 t / 10 ISO con- tainere	75	20.400		0,7
3	Rustfrit stål og bly	345 t / 3 stålcontai- nere og 101 ISO containere	732	66.600	18.000	1,5
4	Tung beton og be- ton	1.313 t / 230 ISO containere	1.129	570	38.000	108
<i>Affald fra afvikling af "Hot Cell"</i>						
5	Rustfrit stål, stål og bly	3 t / 2 ISO containere	5	3.000	1	160
6	Beton	20 t / 6 ISO con- tainere	40			
7	Forskellige kompo- nenter	3 t / 3 ISO containere	5			
8	Sekundært affald	100 210 l tromler = 20 t	57			
	TOTAL		2.082	94.570	56.121	270

Det særlige affald indeholder en betydelig andel af langlivede nuklider i forhold til den samlede mængde langlivede nuklider i det danske affald. Som det fremgår af Tabel 3.2, består affaldet af ca. 20 større kilder, kerneopløsningen fra DR 1 samt bestrålet og ikke-bestrålet uran. Det særlige affald er mellemaktivt og langlivet.

Tabel 3.2 Eksisterende affaldsmængder, estimeret bortskaffelsesvolumen og affaldets aktivitet per 1. juni 2008 (Dansk Dekommissionering, 2011, s. 13 - 14). "C" står for beholder for "CCA-blade". "A" er "A-bøtte"

Type	Affald	Vægt/ enheder	Volu- men, konditi- oneret (m ³)	Kortlivet β/γ- aktivitet (GBq)	Lang- livet β/γ- aktivi- tet (GBq)	Lang- livet α- aktivi- tet (GBq)
<i>Lav-aktivt affald</i>						
9	Affald fra spildevandsbehandling	1.100 210 l tromler	920	1.800	0,5	130
10	Sammenpresset affald og jord	4.400 210 l tromler	1.100	2.600	0,6	170
<i>Mellem-aktivt affald</i>						
11	Affald fra DR3	17 C + 40 tromler = 40 tromler og 16 ISO containere	80	5.400	18.000	
12	Affald fra "Hot Cell"	180 210 l tromler + 40 A bølter + diverse	430	33.000	147	1.300
13	Eksterne radioaktive kilder	18 210 l tromler + diverse	30	370.000	300	1.500
<i>Særligt affald</i>						
14	Ca. 20 større kilder	Diverse	35			1.000
15	1,2 kg bestrålet, opløst uran	3 A bølter	5	4.000	9	400
16	12 kg bestrålet brændsel	20 A bølter	20	23.000	55	1.500
17	222 kg bestrålet brændsel	13 A bølter	45	730.000	5.200	31.000
18	Kerneopløsning fra DR1	3 flasker	10	120	1	4
19	Ikke-bestrålet uran	2 t /4 stål-containere	60			50
I alt			2.735	1.169.920	23.713	37.054
TOTAL, Tabel 3.1 plus Tabel 3.2			4.817	1.264.490	79.834	37.324

Det kan for de enkelte affaldstyper beregnes, hvor meget aktiviteten vil være reduceret efter 100 år, se Tabel 3.3. Beregningen er foretaget på basis af viden om aktivitetens fordeling på de enkelte nuklider i 2008 samt den forventelige halveringstid, også for datternukliderne (bl.a. beskrevet i Danish Decommissioning, 2011a).

Tabel 3.3 Estimeret aktivitet efter mellemlagring i 100 år

Type	Affald	Volumen, Konditioneret (m ³)	Kortlivet β/γ-aktivitet (GBq)	Lang-livet β/γ-aktivitet (GBq)	Lang-livet α-aktivitet (GBq)
<i>Affald fra afvikling af DR1, DR2, og DR3</i>					
1	Grafit	39	15	120	-
2	Aluminium	75	20	-	0,5
3	Rustfrit stål og bly	732	250	8.000	1
4	Tung beton og beton	1.129	1,5	18.000	85
<i>Affald fra afvikling af "Hot Cell"</i>					
5, 6, 7, 8	Stål, beton, forskellige komponenter og sekundært affald	107	280	1	110
<i>Lav-aktivt affald</i>					
9	Affald fra spildevandsbehandling	920	165	0,5	85
10	Sammenpresset affald og jord	1.100	170	0,6	105
<i>Mellem-aktivt affald</i>					
11	Affald fra DR3	80	3	8.800	-
12	Affald fra "Hot Cell"	430	1.100	70	850
13	Eksterne radioaktive kilder	30	18.000	600	3.500
<i>Særligt affald</i>					
14	Ca. 20 større kilder	35	-	-	1.700
15	1,2 kg bestrålet, opløst uran	5	400	3	260
16	12 kg bestrålet brændsel	20	2.200	30	950
17	222 kg bestrålet brændsel	45	68.000	2.500	20.000
18	Kerneopløsning fra DR1	10	12	0,5	3
19	Ikke-bestrålet uran	60	-	-	50
Total, afrundet		4.817	90.620	38.130	27.700

Hertil kommer så den aktivitet, der er knyttet til det affald, som tilføres mellemlageret i løbet af den 100-årige periode. Aktiviteten i dette affald, inkl. det henfald der vil ske i løbet af perioden, er estimeret på samme måde, som det blev estimeret for slutdeponiet, hvor det var antaget, at der blev tilført affald i 30 år inden endelig lukning, se Tabel 3.4. I Danish Decommissioning (2011a) blev det forudsat, at det fremtidigt tilførte affald med hensyn til nuklidsammensætning og aktivitet svarede til det tilførte affald fra de seneste år, bortset fra to større kilder. Med en tilsvarende forudsætning kan nuklidsammensætning og aktivitet efter 100 år estimeres under hensyntagen til den stadige tilførsel samt henfaldshastigheden for det allerede tilførte affald. Som en tilnærmelse er der regnet i 10 års perioder.

Tabel 3.4 Estimeret aktivitet af affald tilført mellemlageret i løbet af de 100 år samt af den samlede affaldsmængde – beregnet ved udgangen af de 100 år.

Typ	Affald	Vægt/ enheder	Volumen, Kondition- neret (m ³)	Kortlivet β/γ- aktiv- tet(GBq)	Lang- livet β/γ- aktivitet (GBq)	Lang- livet α- aktivitet (GBq)
13 frem- tid	Eksterne radio- aktive kilder	2.900 tromler	770	490	2.300	6.200
Samlet, afrundet (inkl. data fra Tabel 3.3)			5.590	91.100	40.400	33.900

Det ses, at den samlede aktivitet fra de kortlivede β/γ nuklider er reduceret med mere end 90 %, fra de langlivede β/γ nuklider med mere end 50 % og fra de langlivede α nuklider med knapt 10 % i løbet af de 100 år, som affaldet opbevares på mellemlageret (inkl. den aktivitet, der knytter sig til affaldet tilført gennem de 100 år).

3.1 Konditionering af affaldet

Det forudsættes, at det også efter ibrugtagningen af mellemlageret er nødvendigt med løbende ompakning, at den nødvendige ompakning med henblik på slutdeponering således ikke kan tilendebringes på Risøs nuværende faciliteter, og at mellemlageret derfor skal indrettes med konditioneringsfaciliteter til udestående og fremtidige ompakninger, og til konditionering af fremtidigt affald. Det foreslås derfor, at der etableres en konditioneringsfacilitet i forbindelse med lagerbygningen, som giver mulighed for ompakning af de forskellige typer af tromler og containere.

Det eksisterende danske radioaktive affald opbevares på nuværende tidspunkt af Dansk Dekommissionering. Strålebeskyttelse i Sundhedsstyrelsen og Beredskabsstyrelsen er tilsynsførende myndigheder. Affaldet opbevares i midlertidige lagre, som er konstrueret til korttidslagring (en titals årrække). Lagrenes tilstand kontrolleres og vurderes løbende, og er indtil videre fundet i acceptabel stand (Sundhedsstyrelsen og Beredskabsstyrelsen, 2015).

At lagrene ikke er konstrueret til langtidsoptbevaring betyder f.eks. at det ikke er muligt at opnå tilstrækkelig fugtkontrol til at hæmme tæring. Tromler, som har stået på lagrene i op til 50 år, viser spor af tæring (rust) i de yderste lag. De fleste af tromlerne består af flere lag (hhv. indertromle af stål, 5 cm beton og yderstromle af stål), så affaldet, som er på fast form, stadig befinder sig intakt i beholderne. Tæringen betyder imidlertid, at tromlerne skal kontrolleres og evt. ompakkes. Tromlernes tilstand er en væsentlig parameter i den samlede vurdering af lagerets tilstand.

Tromlernes tilstand kontrolleres jævnligt, hvor det er muligt, men måden, lagrene er konstrueret på, betyder, at det ikke er praktisk muligt at kontrollere de tromler, som befinder sig inderst i stakkene.

På baggrund af tilstanden af de yderste tromler er det i Beslutningsgrundlaget for et mellemlager vurderet, at det inden for en kort tidshorizont (maks. 5–10 år) er nødvendigt med en langsigtet løsning for alle tromler (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2011).

Det er i forbindelse med økonomiestimatet for mellemlageret forudsat, at det er nødvendigt at reconditionere/ompakke et antal tønder, før det er muligt at flytte dem til mellemlageret, se afsnit 5.2.4.

De lagrede ISO-containerer og stålbeholdere har været i brug i mindre end 10 år og viser ingen tegn på tæring. Lageret med ISO-containerer og stålbeholdere har desuden – indtil videre – plads til at beholderne kan flyttes og kontrolleres enkeltvis. Som dekommissioneringen skrider frem, vil lagrene fyldes, hvilket resulterer i mindre plads til inspektion af beholderne.

Det forudsættes:

- > at samtlige eksisterende tromler skal ompakkes inden for mellemlagerets driftsperiode på 100 år,
- > at behovet for ompakning af tromlerne vil forøge det samlede volumen af tromlerne med 25 % i forhold til det nuværende volumen,
- > at ompakningen for størsteparten af tromlerne kan udføres ved at anbringe tromlerne i større tromler og udstøbe mellemrummet med beton, og
- > at konditioneringen af fremtidigt affald fortsætter uændret, som den udføres i dag.

Det forudsættes desuden, at stålcontainerne, ISO-containerne og jumbo-containerne ikke skal ompakkes før evt. i forbindelse med forberedelse til slutdeponeringen. Denne aktivitet er således ikke taget med i det økonomiske overslag; dog er det sikret, at konditioneringsdelen af mellemlageret er tilstrækkelig stor, til at en evt. ompakning af containerne kan foregå her.

4 Grundlag for estimering af økonomi og drift

Grundlaget for estimering af det nødvendige omfang af mellemlageret og de tilknyttede aktiviteter baserer sig dels på Beslutningsgrundlaget for et mellemlager (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2015,) dels på et besøg på COVRA's langtidsmellemlager i Holland (<http://www.covra.nl/>), på Studsvik Consulting AB's erfaringer (<http://www.studsvik.com/sv/Kontakt/Sverige/Studsvik-Consulting-AB/>) samt besigtigelser og drøftelser hos Dansk Dekommissionering (<http://www.dekom.dk/>) vedrørende deres nuværende praksis m.m. Design med henblik på sikring af mellemlageret er baseret på anbefalingerne i IAEA (2011). En nærmere beskrivelse af evalueringsprocessen findes i Bilag B. Det skal understreges, at der i forbindelse med en konkret etablering af et mellemlager skal indhentes godkendelser fra de relevante myndigheder, som kan have specifikke krav, der ikke indgår i det her anvendte grundlag.

4.1 Specifikation af faciliteter på mellemlageret

Beslutningsgrundlaget for et mellemlager indeholder en række specifikationer vedr. omfang og funktionskrav til mellemlageret, bl.a. at der bør etableres besøgsfaciliteter, så offentligheden kan informeres om drift og overvågning. Et sådant besøgscenter kan også anvendes til anden udadrettet virksomhed, hvilket bl.a. er tilfældet på COVRA's mellemlager i Holland, hvor der afholdes maleriudstillinger, koncerter, lokal revy m.m.

Det samlede anlæg der prissættes omfatter følgende faciliteter:

- > Vagtbygning, 50 m²
- > Besøgscenter, 400 m²
- > Kontor- og medarbejderfaciliteter, 300 m²
- > Mellemlager, 4.600 m²
- > Aflæsseområde, 600 m²

- > Garage, værksted og konditioneringsfaciliteter, 1.400 m²
- > Parkeringsplads til ansatte og besøgende, 1000 m²
- > Vejarealer omkring bygninger
- > Hegn og perimeterkontrol omkring anlægget

4.1.1 Vagtbygning

Vagtbygningen prissættes som en selvstændig tung bygning, inddelt i flere rum, således at der ikke er indkig til kontrolrummet gennem vinduerne i rummet, der betjener porten. Det skal tillige kunne sikres, at der opretholdes kontrol i tilfælde af uønsket indtrængen (hærværk, sabotage etc.) Overvågning af selve mellemlageret, f.eks. klimakontrol, brand m.m., sker også fra dette kontrolrum. Det foreslås, at der i forbindelse med etableringen af kontrolrummet inddrages erfaringer fra Institutt for Energiteknikk's forskning vedr. interaktion mellem mennesker og kontrolsystemer, se f.eks. Brårud (2015) og Fernandes et al (2015).

Vagtfunktionen kunne muligvis integreres i kontorbygningen, men dette afhænger af den konkrete grundudformning.

4.1.2 Besøgscenter, kontor og medarbejderfaciliteter

Besøgscenter, kontor- og medarbejderfaciliteter samles i én bygning i 2 etager, der prissættes som en tung bygning med muret facade.

I besøgscenteret er det forudsat, at der etableres mulighed for udstilling og et biograf/auditorie-lokale, hvor sidstnævnte kræver et dobbelthøjt rum, hvilket naturligt giver en bygning i to etager. Det kan nævnes, at besøgscenteret på mellemlageret i Holland modtager ca. 2500 besøgende om året, og slutdepotet for lavaktivt affald i Aube i Frankrig modtager ca. 700 besøgende om året i forbindelse med deres åbent hus arrangementer (der er ikke et egentligt besøgscenter).

Bygningen er på i alt 700 etage-m² med et grundareal på 450 m² og indeholder:

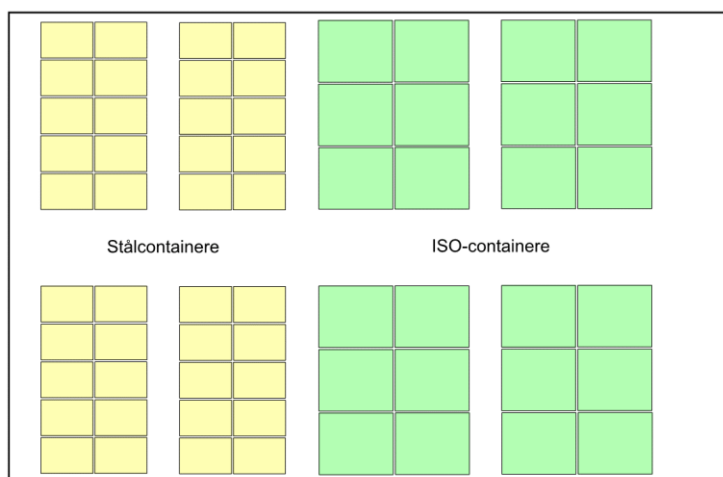
- > Besøgscenter på 200 m² med tilhørende biograf/auditorie på 200 m²
- > Kontorareal på 250 m² med kontorer for 15 personer med tilhørende køkken, toiletter og møderum
- > Reception på 50 m² med tilhørende toiletter, garderobe og trappe til 1. sal

4.1.3 Mellemlagerbygning

Opmagasineringsen af affaldet i mellem-lageret

Opmagasineringsen forudsættes at foregå på forskellig måde, alt efter hvilken type affaldsenhed der opmagasineres.

Containerne stables parvist i rækker med en 1,3 m bred inspektionsgang imellem de parvise rækker. Rækker placeres på tværs i hallen, og der efterlades en 3,0 m bred adgangs- og løftegang på langs i hallen, således at der kan udtages containere fra alle rækkerne fra midtergangen. Rækkerne bygges helt ud til sidevæggene i hallen.



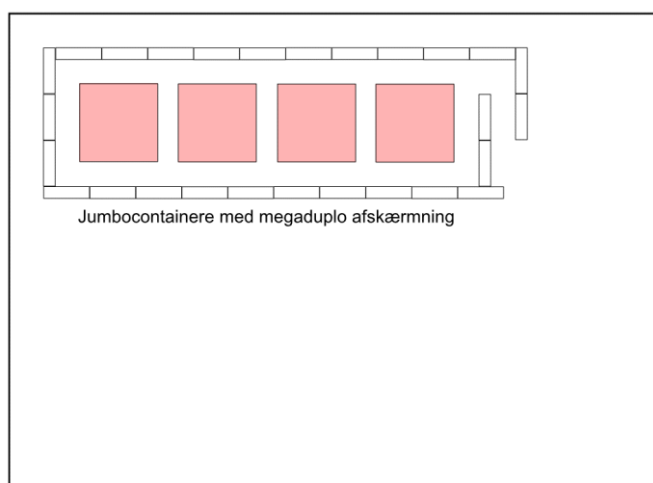
Figur 1, Placering af stålcontainere og ISO-containere i hal

Tromlerne stables som COVRA's mellemlager i Holland, hvor tre tromler samles i et sæt på en ramme, som kan håndteres af en palleløfter. Det forudsættes i disse mellemlagerstudier, at der bygges bærende rammer til tromlerne, så de kan stables oven på hinanden i samme højde som i Holland. Der stables således seks sæt oven på hinanden i højden og fem sæt ved siden af hinanden i bredden i hver tværgående række, før der kommer en 1,3 m bred inspektionsgang. I hver side af hallen efterlades en 1,3 m bred inspektionsgang, idet det ikke er nødvendigt med en bred løftegang, fordi stablerne ikke er højere end at der kan løftes hen over disse, således at der kan udtages tromler fra alle rækkerne uden en egentlig løftegang.



Figur 2, Placering af tromlesæt i hal

Jumbocontainerne har en relativt høj aktivitet på ydersiden, og de placeres derfor i et afskærmet område, hvor afskærmningen bygges på stedet af ½ m tykke betonblokke, der kan stables så de griber fat i hinanden som dubloklodser – kaldet for "megaduplo" betonblokke. Containerne placeres inden for afskærmningen med indvendig afstand/gangbredde på 0,8 m.



Figur 3, Placering af jumbocontainere i hal

Jumbocontainerne er så tunge, at de skal flyttes med specialtransporter, og de placeres derfor hævet over gulvet på et antal robuste stålsokler, således at transportvognen kan køres ud og ind under containerne, uden at der skal rigges særligt løftegrej til inde i hallerne.

Opmagasineringsen af affaldet i mellemlageret forudsættes altså at foregå på følgende måde:

- > De 125 stk. stålcontainere stables i 4 lag, parvis ved siden af hinanden, med 1,3 m inspektionsgangbredde og 3,0 m midtergang, svarende til et samlet gulvareal på 200 m².

- > De 518 stk. ISO-containere stables i 4 lag, parvis ved siden af hinanden, med 1,3 m inspektionsgangbredde og 3,0 m midtergang, svarende til et samlet gulvareal på 1.650 m².
- > De 4 stk. jumbocontainere stables ikke, men placeres ved siden af hinanden, og omgives af "megaduplo" betonblokke, med indvendig gangbredde 0,8 m og udvendig gangbredde 1,3 m, svarende til et samlet gulvareal på 250 m².
- > De 5.500 stk. 210 l tromler stables i 6 lag i sæt af tre tromler, med 5 sæt i hver række, med 1,3 m inspektionsgangbredde og 3,0 m midtergang, svarende til et samlet gulvareal på 1.150 m², inkl. en volumenforøgelse på 25% på grund af fremtidige ompakninger.
- > De ca. 250 stk. 280 l tromler⁶ stables i 6 lag i sæt af tre tromler, med 5 sæt i hver række, med 1,3 m inspektionsgangbredde og 3,0 m midtergang, svarende til et samlet gulvareal på 200 m², inkl. en volumenforøgelse på 25% på grund af fremtidige ompakninger.
- > Det fremtidige affald svarende til 2.900 stk. 210 l tromler stables i 6 lag i sæt af tre tromler, med 5 sæt i hver række, med 1,3 m inspektionsgangbredde og 3,0 m midtergang, svarende til et samlet gulvareal på 600 m², inkl. en volumenforøgelse på 25% på grund af fremtidige ompakninger.

Arealbehovet til affaldsdeponeringen kan således opgøres til et nødvendigt lagergulvareal inklusiv gangarealer på 4.050 m². Det foreslås, at der bygges med 550 m² lagergulvareal i reservekapacitet og som bufferzone i forbindelse med omrokeringer af affaldsenhederne, som led i den løbende overvågning.

Mellemlageret prissættes som en tung bygning, med et robust gulv der tåler truckkørsel og punktlaster fra de oplagrede affaldsenheder, og med facade i sandwich-betonelementer, for at opnå en samlet betontykkelse i ydervæggene på min. 35 cm. Taget opbygges af TT-dæk med overbeton, for at opnå en samlet betontykkelse i taget på min. 25 cm.

Betonvæggene vil blive udformet til at forhindre revnedannelse forårsaget af jordskælv. Det forventes, at de vil blive udformet til at modstå jordskælv med en returperiode på mindst 100 år.

Mellemlageret tænkes indrettet, således at oprensning efter evt. spild er gjort så nemt og sikkert for personalet som muligt. Der er således mulighed for opsamling af udsivet væske eller spild samt systemer til registrering af lækager.

⁶ Ompakkede 210 l tromler

Bygningen indeholder:

- > Indkørsels- og aflæsseområde inkl. teknikrum for bygningen på 600 m²
- > 3 stk. lagerhaller på i alt 4.600 m²

Bygningen indrettes med et centralt indkørsels- og aflæsseområde og med lagerhaller til den ene side og konditioneringen til den anden side.

Bygningen udføres med 8 m etagehøjde, hvor de øverste 2 m er afsat til traverskranerne, således at affaldsenhederne kan stables i op til 6 m's højde.

Der etableres adgangskontrol til både mellemlager og konditioneringsanlæg. Der forudsættes etableret måling af ydre forurening af personale m.fl. ved udgange fra kontrollerede områder eller ved bevægelse fra områder med forventelig højere radioaktivitet til områder med lavere radioaktivitet. Alt udstyr skal have måleområder, der er dækkende for det forventede interval og skal testes og kalibreres periodisk.

Lagerhallerne udstyres med traverskraner under loftet, med en løftekapacitet på hver 25 tons, og hallerne inddeles på langs i tre haller af hensyn til spændvidden af tagkonstruktion og traverskraner.

Lageret tænkes forsynet med ventilation, herunder kontrol af fugtindhold som en sikring mod tæring af beholderne.

Der etableres driftssikker belysning til brug for drift, inspektion og fysisk beskyttelse af det oplagrede affald, samt nødvendige interne kommunikationssystemer for at sikre driften både under normal drift og i tilfælde af uheld. Der etableres desuden nødsystemer for lys, kommunikation og drift generelt.

Luften i mellemlageret filtreres, før den udledes til atmosfæren. Filteret forventes at tilbageholde alle partikler. Filtrene antages at blive udskiftet med relevant interval. På baggrund af viden om de deponerede affaldstyper forventes der ikke forhøjede niveauer af Radon (Rn) i mellemlageret; indholdet af Radon i luften bør blive overvåget via det løbende monitoringsprogram.

Derudover er mellemlageret (og konditioneringsanlægget) udstyret med tilstrækkeligt brandudstyr.

4.1.4 Garage, værksted og konditioneringsfaciliteter

Garage, vedligeholdelsesværksted, konditioneringsfaciliteter, vaskeri og omklædning for medarbejderne er her foreslået placeret i den ene ende af lagerbygningen, og prissættes som en tung bygning med en god etagehøjde, et robust gulv, der tåler truckkørsel og muliggør opsamling af evt. spild, og med facade i sandwich-betonelementer.

I forbindelse med afløbssystemet for hele bygningen etableres en tank, til opsamling af potentielt forurenede vand, der har været i kontakt med oplagret affald, f.eks. i tilfælde af brand. Tanken udstyres med niveaumåler og alarm. En sonde måler det radioaktive niveau i tanken. Tanken placeres, så eventuelle lækager er synlige og kan opsamles, og således at den kan tømmes regelmæssigt på en sikker måde, når der er 1 m³ i tanken, eller mindst en gang i kvartalet.

Bygningen på i alt 1.400 m² indeholder:

- > Garage og vedligeholdelsesværksted, 200 m²
- > Safeguard område, 250 m², inkl. en 70 m³ betonblok nedfældet i gulvet, med "huller" til oplagring af særligt aktivt materiale. Dette område etableres i en særligt sikret zone med adgangskontrol og særskilt alarmsystem i overensstemmelse med anbefalingerne i IAEA (2011).
- > "Hot Cell", 100 m² med fjernstyret udstyr til håndtering af radioaktivt affald i forbindelse med karakterisering af nyt affald, ompakning af tromler, herunder karakterisering og evt. sortering af historisk affald
- > Laboratorie, 50 m²
- > Destillation, 50 m²
- > Øvrige konditioneringsfaciliteter, 400 m²
Bl.a. indeholdende modtagesortering, 40 tons presse, betonsaks til tromler, løfteudstyr, lille betonblandestation, disponible rum, og et lokale med skriveborde.
- > Vaskeri til forurenede arbejdstøj m.m., 50 m², med tilhørende renseanlæg
- > Toiletter, omklædning og bad for medarbejderne, 100 m², med en aktiv og en ikke aktiv side
- > Teknikrum for bygningen, 200 m².

Bygningen placeres således, at der kan etableres adgangskontrol og overvågning af adgangen til bygningen i overensstemmelse med anbefalingerne i IAEA (2011).

4.1.5 Parkering, vejarealer, hegn og perimeterkontrol

Grundarealet skal være på ca. 20.000 m² for at kunne rumme et layout som vist i bilag A, Situationsplan. Der forudsættes i disse mellemlagerstudier dog et noget større grundareal på 30.000 m², for at sikre mulighed for fremtidige udvidelser af aktiviteterne på området, hvilket man også har valgt at gøre hos COVRA, hvor der allerede har været behov for at udnytte noget af det ekstra areal.

Parkeringsplads for 30 biler og 2 busser placeres uden for hegnet. Besøgscenter og kontorbygningen er foreslået placeret ifm. hegnet, således at der er mere direkte adgang til bygningen fra parkeringspladsen, dog stadigt med behørig adgangskontrol.

Mellemlager og konditioneringsbygning placeres inden for hegnet, således at man skal forbi vagten for at komme ind til bygningerne, og der anlægges vej rundt om bygningerne og en større vendeplads for lastbiler foran konditioneringsanlægget. Veje og parkeringsplads belægges med asfalt med en vejkasse-opbygning svarende til tung trafik.

På og omkring anlægget etableres udstyr til overvågning af strålingsmiljøet samt af evt. udledning af radioaktive stoffer til luft, vand m.m.

Hegnet er tænkt som et almindeligt trådhegn med pigtråd på toppen. Hele det indhegnede område dækkes af kameraovervågning fra vagtbygningen som et led i etableringen af den nødvendige sikring af området i overensstemmelse med anbefalingerne i IAEA (2011). Overvågningssystemet skal sikres mod evt. sabotage og via vagten være tilknyttet det af myndighederne fastlagte beredskab, ligesom der generelt skal være nødstrømsforsyning. Hegnet har således til formål at markere området og er ikke i sig selv tænkt som en robust barriere, der kan stoppe køretøjer mv., men vil ud over markeringen også have en forsinkende effekt. Dette svarer til indhegningsprincippet på COVRA's anlæg i Holland.

Ved COVRA's anlæg er der etableret lave vandbassiner ved indgangspartiet til anlægget, som både giver en arkitektonisk effekt og forhindrer passage direkte ved bygningen. Der skabes dermed en barriere imod indgang til bygningen uden om indgangspartiet. Sådanne tiltag kan indtænkes i det arkitektoniske design af mellemlageret.

4.2 Drift af mellemlageret

Driften af mellemlageret omfatter følgende funktioner:

- > Ledelse
- > Sekretariat og økonomi
- > Placering og overvågning af affaldet
- > Rekonditionering af affaldet efter behov
- > Konditionering af nyt affald
- > Monitering af potentielle emissioner til omgivelserne
- > Generel overvågning
- > Drift af besøgscenteret

I alt forudsættes mellemlageret bemandedet med 15 personer:

- > En chef
- > En kontomedarbejder
- > Tre akademiske medarbejdere til karakterisering, sikkerhedsvurderinger, deltagelse i internationale samarbejder og forskning, planlægning af slutdeponering samt dekommissionering af mellemlageret mv.
- > En laborant/miljøtekniker
- > Tre lager- og konditioneringsarbejdere
- > Fem vagter til at opretholde 24-7 bemanning af hensyn til etablering af den nødvendige sikring af anlægget
- > En medarbejder til besøgscenter og rundvisninger

Medarbejdere til rengøring, bygningsvedligehold og pasning af udearealer hyres ind over driften, og vil ikke være en del af det faste personale.

På COVRA's mellemlager i Holland indgår lager- og vagtpersonale i den samme ressourcepulje med henblik på at sikre mere alsidighed i arbejdsopgaverne samt en bredere forståelse af sikkerhedsproblemstillingerne. En tilsvarende ordning kunne implementeres i den danske løsning.

Antal af ansatte til lager og konditionering er fastsat i forhold til et behov for kontrol med beholdernes tilstand samt rekonditionering af affaldet mindst én gang i løbet af den samlede driftsperiode, konditionering af alt nyindkommet affald samt evt. rekonditionering af dette efter behov.

Tromlerne skal håndteres løbende over hele driftsperioden, idet alle tromler forudsættes eftersat hvert 10. år⁷, og for at det kan lade sig gøre, er det nødvendigt at flytte/omplacere samtlige tromler hvert 10. år. Der er ikke indregnet arbejdstid til evt. sortering af affaldet under rekonditionering i større omfang. Det er også forudsat, at lagerpersonalet forestår mindre vedligeholdelsesopgaver.

Omkostninger til drift af selve lageret omfatter også omkostninger til konditionering af nyt affald samt rekonditionering af oplagret affald efter behov. Dette omfatter både de relevante beholdere samt drift af udstyr til håndtering af affaldet under konditionering samt opmagasinering af beholderne.

⁷ Dette er samme størrelsesorden som anvendt hos COVRA

Personalet tilknyttet besøgscenteret kan derudover varetage almindelig information om mellemlageret såsom information til en hjemmeside, udarbejdelse af årsrapporter m.m. Det er en vigtig funktion i forbindelse med et mellemlager at sikre fortsat offentlig opmærksomhed omkring mellemlageret samtidig med, at faciliteten så vidt muligt udnyttes til gavn for lokalbefolkningen.

En af akademikergruppens funktioner vil - udover at registrere indkommende affald samt planlægning af den løbende rekonditionering/ompakning af dette - være at sikre vedligeholdelse af dataoplysninger (også historiske) omkring affaldets sammensætning og konditionering samt en vidensoverførsel over tid omkring den hidtidige håndtering af affaldet. Det kan i den sammenhæng nævnes, at man i den franske organisation til håndtering af radioaktivt affald, ANDRA, <http://www.andra.fr/international/> arbejder med at bevare informationer på permanent papir i stedet for elektronisk. Herudover bør personalet deltage i internationalt forskningsarbejde både med henblik på den fremtidige slutdeponering samt i det hele taget for at sikre en løbende opdatering af medarbejdernes vidensniveau.

En del af monitoringsarbejdet samt vedligeholdelse af bygninger og materiel kan udføres af eksterne, forudsat at der er afsat tilstrækkelige midler til dette. Hos COVRA er det en vigtig pointe, at så meget udstyr som muligt kan serviceres uden for selve mellemlagerets område, både af sikkerhedsmæssige årsager og for at minimere udefrakommendes risiko for strålingsudsættelse.

Ud over det faste personale skal der i tilfælde af, at mellemlageret organisatorisk ikke placeres direkte under et ministerium, etableres en bestyrelse eller lignende, og endelig skal der sikres midler til de faglige reviews, som skal udføres i henhold til den nationale implementering af EURATOM og IAEA's regler samt de nordiske og andre bilaterale aftaler (se f.eks. Sundhedsstyrelsen & Beredskabsstyrelsen, 2015, afsnit 2.6). Det er essentielt for sikring af institutionel kontrol, at der kan opretholdes den nødvendige viden til at drive mellemlageret og opretholde en attraktiv arbejdsplads, der vedvarende kan tiltrække kvalificeret arbejdskraft. Det er derfor vigtigt at der er tilstrækkelige midler til træning, efteruddannelse samt deltagelse i relevante faglige arrangementer og internationale forskningsprojekter.

Desuden er det vigtigt, at der er midler til at sikre information om mellemlageret bl.a. via drift af besøgscenteret, herunder afholdelse af arrangementer, der er interessante for især lokalbefolkningen i mellemlagerets nærområde.

Det foreslåede personaleomfang vurderes at være et minimum i forhold til varetagelse af de løbende driftsopgaver. Til sammenligning kan det nævnes, at der på COVRA's mellemlager er ansat ca. 55 heltidsansatte til modtagelse af ca. 150 m³ lavradioaktivt affald, ca. 1500 m³ mellemaktivt affald (i containere) og ca. 10 m³ højradioaktivt affald årligt, overvågning og evt. rekonditionering af den akkumulerede affaldsmængde samt til guidning og øvrig håndtering og af ca. 2500 besøgende årligt i besøgscenteret.

5 Økonomioverslag

De samlede udgifter til et langtidsmellemlager vedrørende udformning, etablering, drift og afvikling skal beregnes for hele dets levetid⁸. Den økonomiske opgørelse vil bestå af følgende hovedelementer:

- > Indledende udgifter
- > Engangsudgifter
- > Driftsudgifter
- > Udgifter til lukning og dekommissionering

5.1 Indledende udgifter

De indledende udgifter dækker over udgifter til

- > Planlægning af det videre forløb
- > Mellemlagerstudier og miljøvurdering
- > Udpegning af mulige lokaliteter
- > Detaljerede feltundersøgelser på lokaliteterne
- > VVM-proces og skitseprojektering.

Sådanne udgifter er både relevante i forbindelse med etableringen af mellemlageret og senere i forbindelse med etableringen af det efterfølgende slutdepot.

⁸ I Kapitel 7 sammenlignes økonomien for de to løsninger: et slutdepot alene og et mellemlager efterfulgt af et slutdepot.

Rådgiverarbejdet med de indledende udgifter fastsættes som en procentsats på 15 % af anlægssummen, hvor der er anvendt et usikkerhedsinterval på estimeret i form af en minimum og maksimum procentsats på hhv. 75 % og 150 % i forhold til den mest sandsynlige pris. Det er valgt på nuværende tidspunkt at operere med et stort usikkerhedsinterval, da der er tale om en generisk evaluering uden kendskab til de stedsspecifikke forudsætninger. Det anvendte usikkerhedsinterval svarer til intervallet anvendt ved prissætningen af øvrige faciliteter ved et slutdepot i forbindelse med prissætningen af disse (Dansk Dekommissionering, 2011, s. 208).

For arbejdet med de indledende udgifter giver dette en sandsynlig pris på 28,5 mio. kr., med en mulig variation inden for minimum 21,4 mio. kr. og maksimum 42,8 mio. kr.

I Beslutningsgrundlaget for et mellemlager er den videre proces for et mellemlager beskrevet nærmere og det fremgår heraf, at de involverede processer i store træk svarer til processerne i det videre arbejde for et slutdepot som beskrevet i slutdepotrapporten (Dansk Dekommissionering, 2011, Bilag J). I slutdepotstudierne blev der skønnet et samlet budget for denne proces på i alt 27 – 39 mio. kr. Hertil skal lægges arbejdet med de mellemlagerstudier, som endnu ikke er udført, herunder mere detaljerede og stedsspecifikke sikkerhedsanalyser og -vurderinger samt studier vedr. mellemlagerets organisationsform.

5.2 Engangsudgifter

Engangsudgifter dækker over udgifter til:

- > Arealerhvervelse
- > Bygning og indretning af mellemlager og supplerende bygninger
- > Projektering og udbudsmateriale
- > Omkostninger til indledende konditionering inden flytning af affaldet

5.2.1 Arealerhvervelse

Placeringen af mellemlageret forudsættes enten at ske i landzone eller i et industriområde (svarende til det hollandske mellemlager). Generelt er lokalisering af et mellemlager mindre afhængig af geologiske forhold end et slutdepot. Omkostningerne til arealerhvervelsen vil kunne variere betydeligt alt efter den endelige lokalitets anvendelse, geografiske placering, bonitet m.m. Baseret på aktuelle markedspriser kan omkostningerne til arealerhvervelse variere mellem 50 kr./m² og 500 kr./m², hvor der til prisestimatet er valgt en pris på 250 kr./m².

For de 30.000 m² grund giver det en sandsynlig pris på 7,5 mio. kr., med en mulig variation inden for minimum 1,5 mio. kr. og maksimum 15,0 mio. kr.

5.2.2 Bygning og indretning af mellemlager og supplerende bygninger

Bygningerne antages udformet som beskrevet i afsnit 3 og vist på Bilag 1, Situationsplan.

Det er forudsat i prisestimatet, at bygningerne kan funderes direkte på bæredygtig grund i frostfri dybde. Der er således ikke forudsat særlige geotekniske forhold som f.eks. kunne medføre pælefundering. Omkostninger til særlig fundering m.m. vil være meget stedsspecifikke og er derfor ikke søgt estimeret i nærværende studie.

Det er forudsat, at grunden ikke er forurennet med deraf følgende udgifter til f.eks. jordudskiftning og bortskaffelse af forurennet jord. Omkostninger hertil vil være meget stedsspecifikke og er derfor ikke søgt estimeret i nærværende studie.

Det er ligeledes forudsat i prisestimatet, at vej-kassen kan funderes direkte i af-rømningsniveau, uden yderligere udskiftning af jord. Omkostninger til særlig opbygning af vej-kassen vil være meget stedsspecifik og er derfor ikke søgt estimeret i nærværende studie.

Under bygningerne er der medregnet udskiftning af jorden under terrændækket til bæredygtigt lag i 1 m's dybde.

Priserne i estimatet er baseret på erfaringstal fra lignende byggerier, og usikkerheden på estimatet er inddraget ved at bruge minimum og maksimum procentsatser for den mest sandsynlige pris på hhv. 75 % og 150 %.

For bygning og indretning af mellemlager og supplerende bygninger giver det en sandsynlig pris på 230,0 mio. kr., med en mulig variation inden for minimum 172,5 mio. kr. og maksimum 345,0 mio. kr. I beløbet er indeholdt en overslagspost på 40 mio. kr. til de 3 traverskraner, gaffeltrucks, 40 tons presse og øvrigt udstyr til konditioneringsarbejder og drift af bygningen.

5.2.3 Projektering og udbudsmateriale

Rådgiverarbejdet for ingeniør og arkitekt med projektering af komplekset, udarbejdelse af udbudsmateriale, kontrahering, tilsyn og byggeledelse fastsættes som en procentsats på 15 % af anlægssummen med en usikkerhed på estimatet på en minimum og maksimum procentsats for den mest sandsynlige pris på hhv. 90 % og 125 %⁹.

For rådgiverarbejdet giver det en sandsynlig pris på 28,5 mio. kr., med en mulig variation inden for minimum 25,7 mio. kr. og maksimum 35,6 mio. kr.

⁹ Her er anvendt et mindre usikkerhedsinterval, da det er gængs praksis at operere med en projekteringsudgift på 15 % af anlægssummen.

5.2.4 Omkostninger til indledende konditionering inden flytning af affaldet

Omkostningerne til pakning af det resterende affald fra Risø i ISO-containerer og stålcontainere forudsættes indeholdt i DD's driftsbudget frem til flytningen til mellemlageret, således også indkøb af resterende containere.

Flytning af containerne forudsættes at kunne foregå uden indledende omkostninger, hvorimod en del af tromlerne er i så dårlig stand, at de skal ompakkes inden de kan flyttes.

Det præcise omfang kendes ikke, men det antages til disse mellemlagerstudier, at det drejer sig om ca. 500 stk. tromler, med en usikkerhed på antallet på minimum 200 stk. og maksimum 1000 stk. Derudover kan der i forbindelse med strålingsmyndighedernes krav til et nyt mellemlager og processen omkring overflytningen af affaldet til dette blive behov for yderligere ompakning¹⁰. Dette indgår ikke i forudsætningerne for nærværende studie.

Den sandsynlige omkostning pr. tromle ansættes til 5.000 kr./stk. (inkl. arbejdstid og materialer) med en usikkerhed på estimatet på en minimum og maksimum procentsats for den mest sandsynlige pris på hhv. 75 % og 150 %.

For omkostninger til indledende konditionering inden flytning af affaldet giver det en sandsynlig pris på 2,5 mio. kr., med en mulig variation inden for minimum 0,8 mio. kr. og maksimum 7,5 mio. kr.

Udgifter til selve flytningen af affaldet til et ukendt sted i landet er ikke indeholdt i overslaget.

5.3 Driftsudgifter

Udgiften til drift af mellemlageret er opgjort i nutidskroner og for en driftsperiode på 100 år. Udgiften indeholder:

- > Lønudgifter til personale
- > Driftsudgifter til personale
- > Udgifter til løbende arbejde og bygninger

5.3.1 Lønudgifter til personale

Lønudgifter til personale dækker ud over den direkte lønudgift for personalet på stedet også udgifter til bestyrelse og eksterne faglige review.

Der regnes med 15 ansatte jf. afsnit 4.2.

¹⁰ Herunder evt. at alle tromler skal ompakkes

Der regnes med gennemsnitlig timeløn for personalet på 350 kr./time, hvilket svarer til en dagsudgift på 2.625,- kr./person, 220 dage/år i 100 år, med en usikkerhed på antallet af ansatte på en minimum 10 personer og maksimum 20 personer. Udgifter til eventuel bestyrelse og til eksterne faglige review sættes til 0,5 mio. kr./år.

For omkostninger til lønudgifter til personale, bestyrelse og review i 100 år giver det en sandsynlig pris på 866,3 mio. kr., med en mulig variation inden for minimum 577,5 mio. kr. og maksimum 1.155,0 mio. kr.

5.3.2 Driftsudgifter til personale

Driftsudgifter til personale dækker udgifter til kontorhold, tjenesterejser, efteruddannelse, beredskabstræning¹¹, dokumentation (datavedligeholdelse), information og adgangskontrol.

Der regnes med en dagsudgift på 250 kr./person, 220 dage/år i 100 år, med samme usikkerhed på antallet af ansatte som under lønudgifter¹².

For omkostninger til driftsudgifter til personale giver det en sandsynlig pris på 82,5 mio. kr., med en mulig variation inden for minimum 55,0 mio. kr. og maksimum 110,0 mio. kr.

5.3.3 Driftsudgifter til løbende arbejder og bygninger

Driftsudgifter til løbende arbejder og bygninger dækker udgifter til el, varme, afgifter og skatter, bygningsvedligeholdelse, vedligehold og udskiftning af maskiner mv.

Desuden medregnes omkostninger til dokumentation af sikkerhedsforskrifter og overvågning, til monitorering af emissioner, og til opbygning og vedligehold af udstillinger i besøgscenteret.

Der regnes med en årlig udgift på 2,5 mio. kr. i 100 år, med en usikkerhed på estimatet på en minimum og maksimum procentsats for den mest sandsynlige pris på hhv. 75 % og 150 %.

For omkostninger til driftsudgifter for løbende arbejder og bygninger giver det en sandsynlig pris på 250,0 mio. kr., med en mulig variation inden for minimum 187,5 mio. kr. og maksimum 375,0 mio. kr.

¹¹ Hertil kommer udgifter til bl.a. beredskabstræning af øvrige involverede i beredskabet (politi, brandvæsen m.m.) i tilfælde af f.eks. brand, uønsket indtrængning m.m., hvilket ikke er indregnet i nærværende budget.

¹² Dette er højt sat for at kunne tage hensyn til forventelige høje omkostninger til træning, efteruddannelse og deltagelse i internationalt arbejde.

For udgifter til modtagelse og karakterisering samt behandling af nyt affald og konditionering i tromler, herunder frigivelse af affald, og til løbende konditionering af materialer, hvor emballagerne ikke længere er holdbare (der regnes med én ompakning af alt nuværende affald i tromler), regnes der med en materialeudgift pr. tromle på 1.000 kr. og samlet set 8.700 tromler, med en usikkerhed på estimeret på en minimum og maksimum procentsats for den mest sandsynlige pris på hhv. 75 % og 150 %. Arbejdet udføres af den faste stab, så arbejdstiden er indeholdt under driftsudgifter.

For omkostninger til behandling af nyt affald og løbende konditionering af materialer giver det en sandsynlig pris på 8,7 mio. kr., med en mulig variation inden for minimum 6,5 mio. kr. og maksimum 13,1 mio. kr.

5.4 Lukning og dekommissionering

Udgiften til lukning og dekommissionering af mellemlageret er opgjort i nutidskroner (prisniveau 2016) og indeholder:

- > Udgifter til dekommissionering og nedrivning
- > Udgifter til planlægning af lukning og til afrapportering til internationale myndigheder

Der er ikke i nærværende overslag medregnet udgifter til ompakning til slutdeponering; dog er det sikret, at konditioneringsdelen af mellemlageret er tilstrækkelig stor, til at en evt. ompakning af containerne kan foregå her.

5.4.1 Udgifter til dekommissionering og nedrivning

Udgifter til dekommissionering og nedrivning dækker udgifter til fjernelse af kontaminerede overflader og i værste fald bygningsdele, og derefter en traditionel nedrivning og bortskaffelse af maskiner, bygninger, anlæg og veje mv.

Der regnes med en udgift på 30 mio. kr. i nutidskroner, med en usikkerhed på estimeret på en minimum og maksimum procentsats for den mest sandsynlige pris på hhv. 50 % og 200 %¹³.

For omkostninger til dekommissionering og nedrivning giver det en sandsynlig pris på 30,0 mio. kr., med en mulig variation inden for minimum 15,0 mio. kr. og maksimum 60,0 mio. kr.

¹³ Her er anvendt et større usikkerhedsinterval, idet det er forbundet med stor usikkerhed at evaluere den potentielle kontaminering af mellemlager og tilknyttede faciliteter, der vil skulle tages højde for i forbindelse med en dekommissionering af mellemlageret m.m.

5.4.2 Udgifter til planlægning af lukning

Udgifter til planlægning af lukning dækker rådgiverarbejdet med fastlæggelse af omfanget af kontaminerede overflader og bygningsdele, og projektering af dekommissionerings- og nedrivningsarbejdet, og til afrapportering til internationale myndigheder, fastsættes som en procentsats på 50 % af entreprenørudgifterne.

For rådgiverarbejdet giver det en sandsynlig pris på 15,0 mio. kr., med en mulig variation inden for minimum 7,5 mio. kr. og maksimum 30,0 mio. kr.

5.5 Samlede udgifter

Udgifterne i de foregående afsnit samles her i nedenstående oversigt over de samlede udgifter i nutidskroner (2016) til mellemlageret i 100 år.

Afsnits henvisn.	Titel	Sandsynlig pris, mio. kr.	Minimum pris, mio. kr.	Maksimum pris, mio. kr.
5.1	Indledende udgifter	28,5	21,4	42,8
5.2.1	Arealerhvervelse	7,5	1,5	15,0
5.2.2	Bygning og indretning	230,0	172,5	345,0
5.2.3	Projektering og udbudsmateriale	28,5	25,7	35,6
5.2.4	Indledende konditionering	2,5	0,8	7,5
5.3.1	Lønudgifter personale	866,3	577,5	1.155,0
5.3.2	Driftsudgifter, personale	82,5	55,0	110,0
5.3.3	Driftsudgifter, bygninger	258,7	194,0	388,1
5.4.1	Dekommissionering og nedrivning	30,0	15,0	60,0
5.4.2	Planlægning af lukning	15,0	7,5	30,0
I alt	Samlede omkostninger for et mellemlager	1.549,5	1.070,9	2.189,0

6 Indledende sikkerhedsevaluering

Dette kapitel indeholder en indledende evaluering af sikkerheden ved et mellem-lager med udgangspunkt i de generiske studier udført i forbindelse med forstudierne til et slutdepot. Disse studier resulterede udover hovedrapporten (Dansk Dekommissionering, 2011) i en række arbejdsrapporter (på engelsk) vedr. bl.a. sammensætning og aktivitet af det historiske affald på Risø samt det forventede fremtidigt genererede affald (Danish Decommissioning, 2011a), den forventelige langtidspåvirkning fra slutdepoter af forskellig type og med forskellig konditionering af affaldet og forskellig omgivende geologi (ikke specifikke lokaliteter men generiske typiske danske geologier) (Danish Decommissioning, 2011b & 2011c), samt den forventelige korttidspåvirkning fra uheldshændelser af forskellig art på basis af den forventelige sandsynlighed, hvormed disse hændelser indtræffer (Danish Decommissioning, 2011d). Mere detaljerede og stedsspecifikke sikkerhedsanalyser kan udføres, når man kender en konkret lokalitet, koncept, etc. En nærmere beskrivelse af evalueringsprocessen findes i Bilag B.

Til brug for sammenligningen i Kapitel 7 er tillige angivet resultaterne af den generiske sikkerhedsvurdering foretaget for de forskellige depottyper i slutdepotstudierne (Dansk Dekommissionering, 2011 med tilhørende arbejdsrapporter).

Sikkerheden ved et slutdepot er vurderet i de sikkerhedsstudier, der udgjorde en stor del af forstudierne udført i perioden 2009 til 2011. Et af hovedresultaterne af disse studier var en række kurver over den forventelige udvikling i den potentielle dosis påvirkning ved langsigtet eksponering af en repræsentativ person i nærområdet omkring slutdepotet (Danish Decommissioning, 2011 b & c). Et andet hovedresultat var opstilling af de mulige hændelser omkring slutdepotet – både i forbindelse med opfyldningen af depotet, en evt. senere udtagning af affaldet samt ved ulykker eller forsætlig indtrængning i depotet efter lukning af dette – og tilhørende beregning af sandsynligheden for, at en repræsentativ person i den sammenhæng udsættes for en effektiv dosis på mere end 1 mSv (Danish Decommissioning, 2011d).

Der foreligger således en omfattende analyse af hvilke hændelser, der kan forekomme ved overjordiske anlæg både ved almindelig daglig drift og ved evt.

ulykker eller ændringer i omgivelsernes potentielle påvirkning af de overjordiske dele af et slutdepot, f.eks. grundvandsstigninger. I den sammenhæng er der også foretaget evalueringer af, hvorledes forekomsten af hændelserne og deres konsekvenser kan modvirkes, både via fysiske tiltag, f.eks. anlæggets udformning, samt via organisatoriske tiltag, f.eks. procedurer og træning af personale.

Disse resultater er udgangspunkt for dels en vurdering af, hvilken betydning det vil have for den potentielle langsigtede eksponering, at etableringen af slutdepotet udskydes i 100 år, dels vurderingen af relevante hændelser i tilknytning til et mellemlager, samt disses sandsynlighed for at påføre en repræsentativ person i befolkningen en uønsket grad af eksponering.

Resultaterne er desuden suppleret med resultater fra vurderinger foretaget for relevante udenlandske mellemlagre og slutdepoter. Specifikt er langtidsmellemlageret i Holland besøgt. Information om foretagne sikkerhedsvurderinger, løbende monitoringer og viden om hyppighed af hændelser, der kan påvirke sikkerheden, er indhentet.

Som det er påpeget i beslutningsgrundlaget for et mellemlager (Ministeriet for Sundhed og forebyggelse, 2015, s. 63), afhænger sikkerheden i et mellemlager i høj grad af institutionel kontrol, og der er i sammenligningen lagt vægt på at beskrive de overvejelser og erfaringer, andre anlæg har gjort sig med henblik på at sikre sig opretholdelsen af denne institutionelle kontrol.

6.1 Mellemlager

Nærværende afsnit indeholder evalueringen af potentielle langtids- og korttids-påvirkninger tilknyttet et langtidsmellemlager.

6.1.1 Forudsætninger vedr. placering af mellemlageret

Det er som for slutdepotet forudsat, at mellemlageret vil ligge på et sted, hvor det ikke er udsat for oversvømmelse af havvand med den nuværende vandstand. Det antages ligeledes, at man har indregnet en forholdsvis høj stigning af vandstanden i havet som følge af global opvarmning, og at mellemlageret dermed ikke vil være udsat for oversvømmelse i tilfælde af, at havets vandstand stiger mindre end den forventelige havstigning for de næste 100 år. DMI-beregninger for fremtidige havstigninger omkring Danmark viser stigninger på mellem 0,3 og 0,9 meter i et middelscenarie med en øvre grænse på 1,2 meters stigning i slutningen af århundredet (år 2081-2100) i forhold til referenceperioden 1986-2005 (DMI, 2012 & DMI, 2014).

Herudover henvises der til beslutningsgrundlaget for et mellemlager for flere informationer om forudsætninger vedrørende placering af mellemlageret (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2015b, kapitel 8).

6.1.2 Drift af mellemlageret

Institutionel kontrol

Det er en væsentlig forudsætning for vurderingen af både de langsigtede og de kortsigtede påvirkninger for et langtidsmellemlager, at der opretholdes institutionel kontrol med lagerets funktion og drift¹⁴, altså at det i hele driftsperioden kan sikres, at der er kvalificeret arbejdskraft til stede på mellemlageret, både i forhold til drift og overvågning af det oplagrede affald (herunder sikring imod uønsket adgang til affaldet) og i forhold til den konditionering af affaldet, der skal ske, både løbende for at sikre en tilstrækkelig lav stråling langs mellemlagerets grænser, og inden der kan ske en slutdeponering af affaldet. Endelig udgør tilstedeværelsen af kompetent personale også en sikring mod en række uheldstyper og en sikring af, at der sker en hurtig og målrettet indsats, hvis der skulle ske uheld.

I denne forbindelse er det tillige vigtigt, at der kan sikres vedligeholdelse af dataoplysninger (også historiske) omkring affaldets sammensætning og konditionering samt en vidensoverførsel over tid omkring den hidtidige håndtering af affaldet, f.eks. i henhold til IAEA's anbefalinger (IAEA, 2005). Ovenstående betyder bl.a., at der skal være et sikret budget til driften af mellemlageret, som ikke reduceres i løbet af mellemlagerets levetid, samt at det skal sikres, at mellemlageret er en tilstrækkelig interessant arbejdsplads, således at kvalificeret arbejdskraft kan fastholdes.

Sidstnævnte kunne f.eks. sikres via tilknytning af supplerende aktiviteter til mellemlageret. Det er i dette studie forudsat, at der sker en løbende rekonditionering af affaldet, som kunne suppleres med en videre karakterisering og sortering af det historiske affald i forbindelse med rekonditioneringen¹⁵, således at noget affald evt. kunne frasorteres og frigives. Der er ikke i denne sammenhæng grundlag for at sætte en størrelsesorden på hvor stor en mængde, der på denne måde kunne frigives.

Dette arbejde vil også kunne indgå i arbejdet vedr. planlægning og forberedelse af slutdeponeringen, som hensigtsmæssigt kunne knyttes til mellemlageret, samt være en del af relevante forskningsaktiviteter ligeledes knyttet til mellemlageret.

6.1.3 Forudsætninger om hændelser som er relevante for et mellemlager

Naturkatastrofer

Nærværende analyse omfatter i lighed med slutdepotstudierne ikke risici forbundet med naturkatastrofer, hvor sandsynligheden enten er ekstremt lav, eller hvor konsekvenserne af katastrofen er betydeligt større end konsekvenserne af et udslip af det radioaktive materiale. Eksempler herpå omfatter voldsomme jordskælv, store meteornedslag, istider og vulkansk aktivitet.

¹⁴ Herunder at de økonomiske midler, som er vurderet nødvendige, er til stede

¹⁵ Hvor dette ikke er sket i forbindelse med overflytningen til mellemlageret, f.eks. for det ikke allerede karakteriserede og konditionerede historiske affald.

Giftighed af kemikalier Med hensyn til uheld vurderes det, at konsekvenser forbundet med affaldets giftighed er mindre end de, der er forbundet med radioaktiviteten¹⁶. Derfor betragtes primært konsekvenser i form af spredning af radioaktive stoffer i forbindelse med uheld.

I en endelige stedsspecifik sikkerhedsanalyse bør der også indgå en konkret vurdering af betydningen af tilstedeværelsen af en række tungmetaller og kemikalier, f.eks. i forhold til risiko for påvirkning af nærliggende vandløb.

Det er generelt forudsat, at der udarbejdes planer for tiltag mod både sandsynlige og mindre sandsynlige uheldshændelser, så tiltagene - uafhængigt af hinanden - er med til at forhindre og/eller reducere konsekvenserne af hændelserne. Tiltagene kan være af organisatorisk, praktisk eller af konstruktionsmæssig karakter. Ligeledes er det forudsat, at der udarbejdes sikrings- og beredskabsplaner for uønsket indtrængen.

6.1.4 Langtidspåvirkninger

Langtidspåvirkninger tilknyttet et mellemlager omfatter dels den stråling, der kan registreres ved hegnet omkring mellemlageret, dels den påvirkning der potentielt kan ske ved bortledning af radioaktivt overflade- og spildevand fra drift af mellemlageret.

Som et grundlag for at vurdere de potentielle langtidspåvirkninger fra et mellemlager i løbet af dets 100-årige driftstid er der set på, hvilke påvirkninger Dansk Dekommissionerings nuværende aktiviteter giver anledning til samt de påvirkninger som henholdsvis COVRA's mellemlager og det franske overfladedepot for lavradioaktivt affald i Aube tilsvarende giver anledning til.

For Dansk Dekommissionering (DD) er grænserne for årlig udledning af radioaktive stoffer fra drift og afvikling af de nukleare anlæg baseret på en effektiv referencedosis (dosisbinding) for medlemmer af en referencegruppe i befolkningen uden for DD på 0,05 mSv/år for det enkelte anlæg og 0,1 mSv/år for DD betragtet som ét anlæg. På baggrund af disse kriterier er der opstillet specifikke grænser for udledning af enkelte radionuklider til atmosfæren og til Roskilde Fjord fra DD. De fastlagte betingelser for Drift og Afvikling for DD fastsætter endvidere specifikke rapporteringsniveauer for udledning af radioaktive stoffer til det omkringliggende miljø. Værdierne for disse rapporteringsniveauer er typisk en faktor 100 til 1.000 lavere end den fastsatte årlige udledningsgrænse. Der foretages ugentlige målinger af indholdet af nuklider i luften ved hegnet og i spildevandet samt månedlige målinger af nuklidindholdet i regnvand, græs og i Roskilde Fjord. Der har ikke været overskridelse af rapporteringsniveauerne for DD på noget tidspunkt (se f.eks. DTU Nutech's halvårsrapporter for 2014 og 2015).

¹⁶ I lighed med vurderingerne i slutdepotstudierne.

På COVRA's mellemlager i Holland foretages tilsvarende målinger, og her viser årsrapporterne, at de gennemsnitlige målinger af udslip af α - og β/γ aktivitet ligger under 1 % af de fastsatte grænser, mens den specifikke emission af H^3 og C^{14} ligger på 2 til 11 % af den fastsatte grænse i luft og under 1 % i udledt vand (se f.eks. COVRA, 2015a).

På det franske overfladeslutdepot for lav- og mellemradioaktivt kortlivet affald i Aube, som er opbygget som haller svarende til opbygningen af et mellemlager, indtil der sker en permanent lukning af depoterne, måles på luft, regnvand, vand, sedimenter i vandløb, planter og fødekæden. I 2012 var den samlede påvirkning på en repræsentativ person 0,0013 μSv (ANDRA 2015c). I 2014 var gennemsnitskoncentrationerne målt i ovennævnte strømme, som vist i Tabel 6.1 (ANDRA, 2015a)

Det vurderes på det grundlag, at såfremt mellemlageret udformes som beskrevet i Kapitel 4, og der løbende foretages en overvågning af beholdernes tilstand og tilsvarende løbende foretages vedligehold af alle relevante faciliteter, vil der ikke kunne forventes overskridelse af krav, der svarer til, hvad der er fastlagt for DD i dag. En forudsætning herfor er, at kvalificeret personale kan rekrutteres og fastholdes, og at de nødvendige driftsmidler er til rådighed.

Tabel 6.1 Gennemsnitskoncentrationer målt omkring overfladeslutdepotet i Aube, Frankrig, 2014 (ANDRA, 2015 a)

	Luft	Regnvand	Overfladevand	Sediment	Grundvand	Græs
	mBq/m ³	Bq/l	Bq/l	Bq/kg TS	Bq/l	Bq/kg TS
α -stråling	u.d.	u.d.	u.d.	-	u.d.	-
β -stråling	0,43	u.d.	0,12	-	0,13	-
Tritium	u.d.	u.d.	u.d.	-	u.d.	-
Cesium 137	-	-	-	u.d.	-	u.d.

u.d. = under detektionsgrænsen

- = måles ikke

6.1.5 Korttidspåvirkninger

Hændelserne behandlet i forstudierne til et slutdepot blev inddelt i grupper efter den initierende hændelse (Dansk Dekommissionering, 2011, afsnit 8.3). Disse grupper er listet nedenfor:

- > Håndteringsuheld
- > Mekanisk beskadigelse af depot
- > Utilsigtet udslip af drænvand
- > Flystyrt/nedslag af meteorit
- > Nedbrydning af emballage
- > Brand
- > Gasudvikling og udslip af energi
- > Hærværk, terror og krigshandlinger
- > Indtrængen af levende organismer

- > Naturfarer
- > Arbejdssikkerhed.

Håndteringsuheld

Hovedscenarierne forbundet med disse uheld er:

- > Emballage beskadiges under håndtering.
- > Ineffektiv afskærmning af stråling pga. defekt emballage.

Begge typer af uheld kan i princippet forekomme ved et mellemlager, og risiciene er sammenlignelige med et slutdepot. Den anden type af uheld vil blive opdaget ved den løbende overvågning af beholdernes tilstand under fuld institutionel kontrol og medtages derfor ikke.

I den foreløbige sikkerhedsanalyse i forstudierne til et slutdepot er der set på følgende mulige underhændelser:

- > Beholder tabes fra gaffeltruck
- > Beholder tabes fra kran
- > Beholder beskadiges ved påkørsel med gaffeltruck

Der er desuden set på hvilke affaldstyper, der potentielt kan give anledning til påvirkning af en repræsentativ person med en effektiv dosis på 1 mSv. Det drejer sig primært om de affaldstyper, der kan give anledning til udslip af støv, dvs. type 4 (tung beton og beton) og 8 (sekundært affald fra Hot Cell).

Det er antaget, at et uheld, der involverer en gaffeltruck, forekommer med en hyppighed på ca. $3 \cdot 10^{-5}$ per flytning af en affaldsbeholder¹⁷. Hyppigheden for, at en affaldsbeholder rammes af en gaffeltruck, vurderes til ca. $1 \cdot 10^{-4}$ per flytning af affaldsenhed¹⁸. Begge hyppigheder er baseret på studier udført af COWI for et dansk produktionsselskab. Det er endvidere anslået, at tab af en affaldsbeholder fra en kran sker med en hyppighed på 7,8 per en million driftstimer¹⁹ på basis af Lee (1980) (Danish Decommissioning, 2011d, s. 50).

På denne baggrund og på baggrund af beregninger af konsekvenserne af de enkelte hændelser er det beregnet, at for de to terrænnære slutdepottyper vil hyppigheden af hændelser, der kan medføre en påvirkning på en nabo på 1 mSv eller mere ligge på ca. $1 \cdot 10^{-4}$ for opfyldningsperioden, som i den sammenhæng er sat til at være ét år. Eller sagt på en anden måde, at hvis opfyldningsperioden tog 10.000 år, ville der ske ét uheld, der kunne give den beskrevne påvirkning.

¹⁷ Dvs. at der i gennemsnit sker et uheld en gang i løbet af flytningen af ca. 33.333 beholdere.

¹⁸ Dvs. at en gaffeltruck i gennemsnit rammer 1 ud af 10.000 tromler, den håndterer.

¹⁹ Dvs. at det på baggrund af driftsstudier er observeret, at der i gennemsnit tabes knapt 8 beholdere fra traverskranen i løbet af én million driftstimer.

Ved slutdeponeringen er der forudsat 2 flytninger af beholderne over en periode på 30 år (én ved tilkørselen af beholderen til depotet og én ved den endelige placering af beholderen i depotet, inden det lukkes)²⁰). I mellemlageret vil det være en forudsætning, at beholderne skal flyttes flere gange i løbet af den 100-årige driftstid. I COVRA flyttes beholderne én gang hvert 10. til 15. år i forbindelse med inspektion eller behov for ompakning. Det foreslås derfor, at der i denne sammenhæng regnes med, at beholderne skal flyttes i alt 8 gange i mellemlagerets levetid. I forhold til det gennemsnitlige antal flytninger per år, vil det svare til en forøgelse på ca. 20 %. I mellemlagerets 100 årige levetid er det skønnet, at der vil blive tilført 2.900 nye tromler med affald. I gennemsnit vil det således medføre ca. 23 % flere flytninger af affaldsenheder.

Alt i alt vil det således øge den gennemsnitlige årlige hyppighed for et håndteringsuheld, der kan medføre en påvirkning af en repræsentativ person på 1 mSv med knap 50 %, hvilket selvfølgelig skal ses i forhold til, at den faktiske hyppighed er meget lille.

Det er primært affaldstype 8, sekundært affald, som vil kunne give anledning til denne dosis, og derfor anbefales det i slutdepotstudiet (Dansk Dekommissionering, 2011, afsnit 11.4), at der altid foretages konditionering med supplerende fyldmaterialer for beholdere med affaldstype 8 med henblik på at minimere risikoen for støvspreddning i tilfælde af et håndteringsuheld.

Det foreslås, at dette også tages i betragtning ved konditioneringen af denne type affald samt ved placeringen af affaldet i mellemlageret.

Mekanisk beskadigelse på grund af menneskelige aktiviteter

Hovedscenarierne forbundet med disse uheld omfatter:

- > Beskadigelse af mellemlageret under opførelse eller under driften.

I forstudierne til et slutdepot er der alene set på betydningen af dette i forhold til en hurtigere indtrængen af vand i depotet. Efter drøftelse med COVRA og Studsvik Consulting AB er det vurderet, at denne type hændelse ikke er relevant for mellemlageret, fordi skader eller evt. konsekvenser af sådanne, f.eks. indtrængen af regnvand eller forhøjede strålingsniveauer uden for bygningen vil blive opdaget hurtigt som følge af det almindelige vedligeholdelsestilsyn med mellemlageret og den løbende monitoring, forudsat at den fornødne institutionelle kontrol er opretholdt.

Utsigtet udslip af drænvand

Denne type hændelse regnes ikke som relevant af COVRA i forbindelse med det hollandske mellemlager, da de i høj grad har valgt at basere sig på mobilt udstyr, men da det for et evt. dansk mellemlager i større omfang end i Holland foreslås, at der etableres faste elektriske installationer (f.eks. traverskran), og brandrisikoen derfor øges med tilhørende potentielt behov for opsamling af brandvand, er det foreslået etablere en drænvandstank, hvorfor uheldstypen er medtaget.

²⁰ Evt. 3 over en periode på 100 år hvis depotet er forudsat reversibelt, og affaldet skal kunne fjernes igen.

I slutdepotstudierne er hyppigheden af, at der sker en utilsigtet tømning af en dræntank, beregnet til ca. $6 \cdot 10^{-3}$ per år i den 30 årige opfyldningsperiode (Danish Decommissioning, 2011d, s. 62)²¹. Konsekvensen med hensyn til effektiv dosis for en repræsentativ person er dog ikke beregnet, idet den vurderes som meget begrænset på grund af den relativt lille vandmængde, der kan slippe ud. I sammenhæng med et mellemlager vil der primært kunne være tale om vand opsamlet i forbindelse med brand i mellemlageret, da beholderne i øvrigt antages at være intakte som følge af den løbende overvågning, og at der ikke under normal drift vil ske opsamling af drænvand, igen på grund af den løbende overvågning. Det samlede nuklid-indhold i drænvandet vurderes således at være begrænset. Denne hændelse vurderes derfor ikke yderligere.

Flystyrt/nedslag af meteorit på lokaliteten

Disse scenarier eksemplificerer objekter, der falder ned fra himlen og medfører beskadigelse af mellemlageret, samt evt. eksplosion, brand eller varmeudvikling. Store meteornedslag, hvor skaden ved nedslaget i sig selv overstiger skaden ved udslip af radionuklider, ligger uden for denne analyse.

Risiciene er sammenlignelige for et slutdepot placeret oven på jorden, og data til vurdering af hyppigheden af denne type hændelse kan derfor hentes fra slutdepotrapporterne.

I slutdepotstudierne er der på basis af statistik for de forskellige typer af hændelse beregnet hyppigheder af flystyrt med forskellige flytyper og for meteoritnedslag med meteoritter af forskellig størrelse. Der er regnet på, hvor store mængder af en given affaldstype, der skal til for at forårsage en effektiv dosis på 1 mSv på en repræsentativ person, og det er fundet, at det drejer sig om forholdsvis begrænsede mængder for alle affaldstyper, når størrelsen af de forskellige skader tages i betragtning.

På denne baggrund er den potentielle hyppighed af hændelser, der resulterer i en effektiv dosis på 1 mSv eller mere per år, beregnet for overfladedeponityperne (Danish Decommissioning, 2011d, s. 68 & s. 71), herunder et depot under, men tæt på overfladen, som derfor har en tagkonstruktion af beton. Der er derfor taget udgangspunkt i tal for denne depottype, hvilket giver en samlet hyppighed for begge typer hændelser på $1,4 \cdot 10^{-8}$, svarende til at der kan ske sådan et uheld én gang i løbet 70 mio. år.

Brand

Brand kan finde sted inden i eller uden for mellemlageret. Følgende årsager til brande er identificeret: brand i lastbil, gaffeltruck eller kran i/uden for mellemlageret og brand i installationer i mellemlageret. En brand kan også starte efter et flystyrt eller et lynnedslag.

²¹ Svarende til, at hvis opfyldningsperioden tog 5000 år ville der ske én utilsigtet tømning

I slutdepotstudierne er den årsag til brand, der er evalueret: brand i en gaffeltruck, hvor branden kan brede sig til beholdere med affaldstype 9, bituminiseret affald fra spildevandsbehandling. Ved beregningen er der inddraget viden om sandsynligheden for brand i en gaffeltruck, sandsynligheden for at branden ikke slukkes med det samme, samt sandsynligheden for at affaldstype 9 er placeret tilstrækkeligt tæt på brandstedet, og at temperaturen bliver tilstrækkeligt høj, til at branden kan udvikle sig.

På dette grundlag er hyppigheden af, at en brand kan medføre en effektiv dosis på 1 mSv eller mere for en repræsentativ person, vurderet til ca. $2 \cdot 10^{-6}$ per år for et overfladenært depot i løbet af den periode, hvor depotet fyldes²². Som beskrevet under håndteringsuheld vil der være flere håndteringer af flere beholdere i et mellemlager i forhold til i et slutdepot med de foreliggende forudsætninger, hvorfor den estimerede hyppighed vil blive større, her svarende til en resulterende hyppighed på ca. $3 \cdot 10^{-6}$, altså svarende til at der ville ske ét sådant uheld i løbet af en periode på 340.000 år.

Gasudvikling og udslip af energi

Radon-gas (Rn) vil opstå fra Radium (Ra), som hos Dansk Dekommissionering primært findes i tailings. Da tailings ikke tænkes placeret i mellemlageret, vurderes dette ikke nærmere her.

Følgende hændelse relateret til udslip af energi er vurderet i slutdepotrapporten, og risici og sandsynligheder er sammenlignelige for et mellemlager:

- > Frigivelse af Wigner energi fra ikke hærde grafite i affaldstype 1.

I forstudierne til slutdepot er det beregnet, at der skal mere end 20 gange den fulde mængde af nuklider tilstede som ¹⁴C i den samlede affaldsmængde for at kunne medføre en effektiv dosis på 1 mSv eller mere hos en repræsentativ person. Sandsynligheden for en sådan hændelse er derfor ikke vurderet.

Nedbrydning af emballage

Denne hændelse er ikke relevant for mellemlageret, da emballagernes tilstand overvåges løbende, og der foretages ompakning om nødvendigt, forudsat den fornødne institutionelle kontrol er opretholdt i hele mellemlagerets levetid.

Hærværk, terror og krigshandlinger

Slutdepotrapporten berører kort risikoen for hærværk og krigshandlinger, som dog generelt anbefales analyseret og vurderet særskilt. En sådan nærmere vurdering er derfor ikke medtaget i nærværende vurdering, da den baserer sig på foreliggende oplysninger.

Eksempler på farer er:

²² Og hvor der ikke endnu er yderligere konditionering af tromlerne m.m. end konditioneringen af selve beholderne

- > Tyveri af aktivt affald, hvor tyvene ikke har kendskab til den potentielle fare.
- > Tyveri af aktivt affald med den hensigt at anvende det enten til terror eller andre formål.
- > Tilsigtet/utillsigtet bombning af mellemlageret under en krig.
- > Eksplosioner i mellemlageret som følge af terrorhandling.

For mellemlageret kan der desuden peges på det tab af den nødvendige institutionelle kontrol, som krigshandlinger kan medføre. Dette vil have mindre betydning for et lukket slutdepot.

Det er i beslutningsgrundlaget for et mellemlager beskrevet, at der skal udføres lokalitets-specifikke sikkerhedsanalyser og -vurderinger med inddragelse af relevante konklusioner fra slutdepot-forstudierne. Affaldet vil alt andet lige være lettere tilgængeligt i et mellemlager end i et irreversibelt slutdepot, da affaldsenhederne ikke er indstøbt i mellemlageret. Sikringsdelen i forhold til de ovenfor beskrevne hændelser bør derfor tænkes ind i en sådan lokalitetsspecifik sikkerhedsvurdering af mellemlageret.

Indtrængen af levende organismer

Sådanne hændelser anses ikke for at være relevante for mellemlageret, hvor det forudsættes, at der fast er personale til stede hele tiden, som kan sikre imod dette.

Hændelser relateret til naturfænomener

Denne type hændelser omfatter

- > Oversvømmelse af mellemlageret med overfladevand.
- > Oversvømmelse af mellemlageret med grundvand.
- > Jordskælv og sætninger.
- > Stigning i havvandstanden.

Risikoen forbundet med naturfænomener er ikke blevet kvantificeret i slutdepot-rapporten og vil heller ikke blive kvantificeret i nærværende analyse for mellemlageret. Hvis der tages beslutning om etablering af et mellemlager, skal der udføres en lokalitetsspecifik sikkerhedsvurdering, hvor denne type hændelser bør medtages.

Eksempler på meget usandsynlige hændelser eller hændelser, hvor konsekvensen af hændelsen er så ødelæggende, at spredning af det radioaktive affald er et mindre problem kunne være en ny istid (forventes ikke inden for de næste ca. 100 år) eller vulkanudbrud, da der er ikke aktive vulkaner til stede i Danmark eller i tilgrænsende områder. Indtræffen af en evt. tsunami, som rammer kystegne i nærhed af en specifik mellemlager-lokalitet, må også anses for at være relativt usandsynlig.

Arbejdssikkerhed Denne gruppe af hændelser omfatter alle typer af normale arbejdsulykker på en arbejdsplads.

Risikoen for sådanne ulykker håndteres ved normale beskyttelsesforanstaltninger på arbejdspladsen. Hvis myndighederne godkender arbejdsforholdene, anses risikoen for arbejderne at være acceptabel. Derfor er risikoen for arbejderne ikke kvantificeret som del af analysen i slutdepotrapporten og vil heller ikke blive kvantificeret i nærværende analyse for et mellemlager. Det skal dog bemærkes, at der jo i sagens natur vil foregå flere arbejdsoperationer på et mellemlager end på et depot, hvilket alt andet lige vil forøge risikoen for arbejdsulykker.

Eksempler på sådanne risici er:

- > Fald fra højder.
- > Uheld under byggearbejder.
- > Uheld under håndtering af affaldsbeholdere.
- > Brand i eller uden for depotet.
- > Utilstrækkelig afskærmning mod stråling.

Samlet hyppighed af uheldshændelse Den samlede estimerede hyppighed af uheldshændelser per år, som kan medføre at en repræsentativ person (en nabo til mellemlageret) modtager en effektiv dosis på 1 mSv eller mere, er altså samlet i størrelsesordenen $2 \cdot 10^{-4}$, svarende til at det i gennemsnit vil indtræffe ét uheld i løbet af 5000 år. Det ses, at det primært er håndteringsuheld, der bidrager til den potentielle udsættelse for en effektiv dosis på 1 mSv eller mere i løbet af mellemlagerets levetid, på grund af behovet for at håndtere beholderne relativt hyppigt for at sikre sig, at de er i god stand og ikke giver anledning til forhøjede aktivitetsniveauer i og omkring mellemlageret.

6.1.6 Konsekvenser af tab af institutionel kontrol

Som nævnt er det væsentligt for ovenstående vurdering af langtids- og korttids-påvirkningerne tilknyttet et mellemlager, at der sikres institutionel kontrol med mellemlageret i hele dets levetid.

I det følgende er oplyst de konsekvenser, som et tab af institutionel kontrol kan have i forhold til påvirkningerne.

Langtidspåvirkninger Såfremt der ikke er tilstrækkelige driftsmidler til at sikre f.eks. vedligehold af mellemlageret, overvågning af beholdernes tilstand, træning af personalet i brandslukning samt generel håndtering af affaldet og rekonditionering af dette om nødvendigt, vil dosisniveau ved de repræsentative personer (naboerne) potentielt kunne øges og i værste fald overskrides.

Korttidspåvirkninger For uheldshændelser, der kan give anledning til korttidspåvirkninger, vil et tab af institutionel kontrol potentielt kunne give anledning til:

- > Flere håndteringsuheld pga. mangelfuld træning af personalet.
- > Manglende observation og vedligehold af eventuelle mekaniske beskadigelser af mellemlageret.
- > Manglende observation af nedbrydning af emballage og opfølgning herpå, med deraf følgende større risiko for både ansatte og naboer.
- > Manglende observation af situationer, der kan føre til brand samt potentielt større konsekvenser af brand pga. forringet træning og forsinket indgriben.
- > Manglende observation af indtrængen af levende organismer, der kan forårsage skade på beholderne samt bygningens funktion.
- > Generelt forringet arbejdssikkerhed pga. forringet træning.

6.2 Slutdepot

Nærværende afsnit indeholder en sammenfatning af de tidligere vurderinger af de potentielle langtids- og korttidspåvirkninger tilknyttet et slutdepot samt en evaluering af, hvorledes disse kan ændres som følge af etableringen af et langtidsmellemlager.

6.2.1 Langtidspåvirkninger

I forstudierne til slutdepot (Dansk Dekommissionering, 2011) er der regnet på den samlede langtidspåvirkning af en repræsentativ person via luft, vand, samt indtagelse af potentielt påvirkede fødevarer dyrket i nærheden af slutdepotet.

Resultatet af de generiske sikkerhedsvurderinger var, at såfremt en række anbefalinger blev overholdt vedr. konditionering af affaldet, hensigtsmæssig placering af affaldet i depotet samt hensigtsmæssig placering af depotet i forhold til nærhed af vandførende lag, ville det årlige tillægsbidrag til den effektive dosis fra affaldsdepotet maksimalt ligge på 0,00001 mSv for den repræsentative person. I vurderingerne var der fastsat en usikkerhedsmargin pga. den usikkerhed der knyttede sig til den mulige variation i de ved beregningerne anvendte parametre. Dette vil således give sikkerhed for, at tillæggsdosis fra den langsigtede eksponering ikke overstiger en effektiv dosis på 0,01 mSv per år, hvilket var fastsat som acceptkriterium.

Som det ses af Kapitel 3, vil der over en 100-årig periode ske en væsentlig reduktion i både den kortlivede og den langlivede β/γ -aktivitet knyttet til affaldet. Det er ikke muligt på nærværende grundlag at vurdere, om det er muligt i forbindelse med rekonditioneringen på mellemlageret at foretage en udsortering af affald, der kan frigives. Det er heller ikke muligt på nærværende grundlag at vurdere, i hvilket omfang konditioneringsbehovet i forhold til en slutdeponering evt. kan reduceres. En sådan vurdering vil formentligt kræve at der foretages forsøgssorteringer og en grundig karakterisering af relevante affaldsemner. Dette kunne f.eks. være led i en særlig forskningsaktivitet, evt. i internationalt samarbejde.

6.2.2 Korttidspåvirkninger

De potentielle korttidspåvirkninger vurderet for slutdepoterne afhænger af depottypen, altså om der er tale om et overfladenært depot eller ej, samt hvorledes depotet er opbygget og tænkes fyldt. I tabel 6.1 er vist de samlede sandsynligheder for de forskellige typer af depoter og for de enkelte driftsperioder og samlet.

Ud over de uheldshændelser der også er relevante for et mellemlager indgår et muligt uheld omfattende blotlægning af dele af affaldet pga. en boring eller gravning i depotet efter at det ikke længere er velkendt.

Tabel 6.2 *Hyppigheden af uheld per år der forårsager en effektiv dosis på 1 mSv eller mere for den repræsentative person (en nabo) i den omfattede periode*

Uheds-hændelse	Omfattet periode	Depot på terræn	Depot lige under terræn	Mellemdyb depot	Borehul
Håndteringsuheld	1. år ved fyldning af depotet	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-5}$	Ikke relevant
Flystyrt/ meteorit	Hele perioden	$3.1 \cdot 10^{-8}$	$1.4 \cdot 10^{-8}$	Ikke relevant	Ikke relevant
Brand	1. år ved fyldning af depotet	$2.0 \cdot 10^{-6}$	$2.0 \cdot 10^{-6}$	$6.4 \cdot 10^{-6}$	Ikke relevant
Mekanisk skade	Efter depotet er glemt (300 år)	$2.1 \cdot 10^{-4}$	$8.6 \cdot 10^{-5}$	$1.8 \cdot 10^{-8}$	$1.8 \cdot 10^{-8}$

Det ses af tabellen, at hyppigheden af uheld, der kan medføre en effektiv dosis på 1 mSv eller mere for en repræsentativ person generelt er størst for de overfladenære depoter. Det er for denne depottype primært risikoen for spredning af nuklider som følge af mekanisk skade pga. boring eller gravning, der bidrager til denne hyppighed. Det skal bemærkes, at et borehul ikke kan stå alene som slutdepotløsning, men alene er beregnet til deponering af særligt affald i kombination med en anden depottype.

7 Sammenligning af løsning med og uden mellemlager

I nærværende kapitel er foretaget en sammenfatning af sammenligningen af de to løsninger:

- > Slutdepot alene
- > Slutdepot med forudgående mellemlager.

7.1 Sikkerhed

I beslutningsgrundlaget for et mellemlager er opstillet en sammenligning mellem mellemlager og slutdepot (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2015b, s. 57). Denne er gengivet i let modificeret form som Tabel 7.1 nedenfor med hensyn til forhold, der vedrører sikkerhed, samt suppleret med de i Kapitel 6 gængsne størrelsesordener for den potentielle langsigtede og kortsigtede påvirkning fra de to anlægstyper.

Det fremgår af Tabel 7.1, at den forventelige langtidspåvirkning fra henholdsvis mellemlager og slutdepot vil være af samme størrelsesorden.

I den periode, hvor et mellemlager er i funktion, vil hyppigheden af hændelser der vil udsætte en repræsentativ person (en nabo) for en effektiv dosis på 1 mSv eller mere være af samme størrelsesorden eller ca. 1000 gange større (afhængigt af den valgte slutdepottype) end den tilsvarende hyppighed i de første 300 år af et slutdepots levetid, herunder den periode, hvor det er under fyldning (30 år). Den absolutte hyppighed er dog meget lille for begge typer anlæg.

Det er primært risikoen for mekanisk skade, der vægter for slutdepoterne - i hvert fald for nogle af depottyperne. Derudover er det den samme type af uheldshændelser, der bidrager til den estimerede hyppighed af kortsigtede påvirkninger for både mellemlager og slutdepot med en effektiv dosis for den repræsentative person på 1 mSv eller mere, nemlig uheld knyttet til brud på beholdere i forbindelse med håndteringen.

Opbevaringen af affaldet i et mellemlager i 100 år kan estimeres til at medføre en reduktion i den samlede β/γ aktivitet i affaldet i størrelsesordenen 50 %. Det vil ikke medføre en væsentlig reduktion af de potentielle langsigtede påvirkninger knyttet til et slutdepot på sigt, da disse primært er knyttet til α -aktiviteten, som ikke reduceres væsentligt i løbet af de 100 år (i størrelsesordenen 10 %). En vurdering af den konkrete reduktion i den estimerede effektive tillægsdosis fra et slutdepot kræver nye modelleringer af langtidspåvirkningerne baseret på ændringen i koncentrationen af de enkelte nuklider. En mere nøjagtig vurdering af, hvilken betydning etableringen af et mellemlager vil have på risikoen for udsættelse for en effektiv dosis på mere end 1 mSv pga. uheld vil ligeledes kræve specifikke beregninger på nuklidniveau af de forventelige udslip fra de forskellige affaldstyper efter 100 års henfald. Det foreslås, at begge typer beregninger udføres i forbindelse med de lokalitetsspecifikke vurderinger.

Om det er muligt at reducere det nødvendige omfang af slutdepotet ved i mellemlagringsperioden at foretage en detaljeret karakterisering og sortering af affaldet med henblik på frigivelse af dele af affaldet, kan ikke vurderes på det foreliggende grundlag, men er under alle omstændigheder en arbejdskrævende proces, og de tilknyttede doser skal være retfærdiggjort. Udførelsen af dette arbejde i kombination med den bagvedliggende forsknings- og udviklingsopgave kunne være med til at sikre kompetencebevarende aktivitet på mellemlageret.

Tabel 7.1 Sammenligning af et mellemlager og et slutdepot med hensyn til sikkerhedsforhold

Mellemlager	Slutdepot
Generelt	
<p>Sikkerheden omkring et mellemlager er i høj grad baseret på, at mennesker er til stede på mellemlageret i hele dets levetid og kan overvåge affaldsbeholdernes tilstand, og i mindre grad på kemiske og fysiske barrierer, som skal adskille affaldet fra mennesker og miljø.</p> <p>Anlægget skal derfor indeholde faciliteter til håndtering og løbende ompakning af affaldsenhederne i takt med, at de nedbrydes (tæres).</p> <p>Affaldsbeholderne samt miljøet i mellemlageret (luftfugtighed og -kemi) er, næst efter menneskeligt opsyn, de vigtigste barrierer, som skal adskille affaldet fra mennesker og miljø.</p> <p>Det er således essentielt for sikkerheden i et mellemlager, at der kan opretholdes institutionel kontrol i hele mellemlagerets levetid, dvs. at der kan sikres tilstedeværelse af personale med den fornødne viden om overvågning og håndtering af affaldsbeholderne samt midler til at udføre den nødvendige monitoring af beholdernes tilstand samt ompakningen af dem, såfremt det er påkrævet.</p>	<p>Sikkerheden omkring et slutdepot er baseret på, at depotet består af en række fysiske og kemiske barrierer, som alle er udvalgt, så de tilsammen i størst muligt omfang forhindrer, hæmmer og forsinker udslip fra depotet til omgivelserne uden yderligere menneskelig indgriben, og sikrer at man til enhver tid ikke udsætter mennesker og miljø for en påvirkning over det tilladte.</p> <p>Barriererne består af:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Affaldsbeholderne med affald og fyldmateriale > Selve depotbygningen med affaldsbeholdere og fyldmateriale > Den omgivende geologi <p>For at et slutdepot skal være så sikkert som muligt, skal det fyldes med et fyldmateriale, når alt affald er placeret i depotet. Når et slutdepot er lukket, kan og skal der derfor ikke færdes mennesker i depotet. Dog skal der stadig foretages overvågning omkring slutdepotet.</p> <p>Slutdepotet kan konstrueres således, at det anvendte fyldmateriale er af en type, som gør adgang mulig, således at man f.eks. kan udtage affaldet eller dele heraf, hvis det senere ønskes. Denne depottype kaldes et reversibelt depot. I slutdepotstudierne er der redegjort for, at det er overordentligt vanskeligt at etablere et reversibelt depot.</p>
Sikkerhed	
<p>Institutionel kontrol. Menneskelig tilstedeværelse i hele lagerets levetid bl.a. med henblik på udførelse af kontinuerlig overvågning og sikring imod uønsket adgang til affaldet (hærværk, sabotage etc.) Umiddelbar adgang til den enkelte affaldsenhed og til faciliteten som helhed. Dette medfører større risiko for tilsigtet eller utilsigtet indtrængen (terror eller uheld).</p> <p>Det må forventes at myndighederne med tiden kan stille ændrede krav til driften på lageret.</p> <p>Drift og vedligehold påfører doser til personalet.</p>	<p>Passiv sikkerhed baseret på et multibarrieresystem samt et overvågningsprogram for sikring af barrierernes funktion. Her udgør de fysiske barrierer i sig selv sikringen mod uønsket adgang til affaldet.</p> <p>Affaldsenhederne og faciliteten er ikke umiddelbart tilgængelige, men kan i et reversibelt depot tilgås, hvis det ønskes, hvilket vil kræve fjernelse af konditioneringsmidler mellem beholderne, f.eks. beton.</p>

<p>Overvågning forventes ikke at give doser til personalet.</p> <p>Ulemper for kommende generationer, f.eks. i form af behov for ompakning af affaldsbeholdere med medfølgende doser til personale.</p> <p>Tab af institutionel kontrol kan i værste fald føre til spredning af radioaktivt materiale til omgivelserne, idet der så ikke længere er den nødvendige sikring imod uønsket adgang til affaldet eller sikring af vedligehold af bygninger og beholdere.</p> <p>Tab af kompetencer vedr. håndtering af radioaktivt affald i Danmark er en reel risiko, da der ikke eksisterer nuklear industri og ikke længere er større forskningsprogrammer, som omfatter det nukleare område.</p>	<p>Overvågning medfører ingen doser.</p> <p>Overvejelser om fortsat overvågning overladt til kommende generationer.</p> <p>Kræver ikke institutionel kontrol.</p> <p>Hvis der vælges et depot af den reversible type, er det vigtigt, at kompetencer vedr. håndtering af radioaktivt affald opretholdes, i fald man på et tidspunkt ønsker f.eks. at udtage affaldet eller dele heraf. Man skal dog være opmærksom på, at dette kan være vanskeligt, idet beholdere kan være svækkede eller på anden måde ikke intakte.</p>
<p>Estimeret tillæggsdosis</p>	
<p>For mellemlageret er det antaget at kravet til tillæggsdosis til den samlede effektive dosis for et mellemlager vil svare til DDs nuværende krav på i alt 0,1 mSv/år. De løbende monitoringer fra forskellige sammenlignelige nukleare anlæg i drift ligger dog i størrelsesordenen 100 til 1.000 gange lavere end de på basis af kravet til tillæggsdosis fastsatte udledningsgrænser.</p>	<p>Det årlige tillæggsbidrag til den effektive dosis fra et slutdepot som følge af de langsigtede påvirkninger vil maksimalt ligge på 0,00001 mSv for den repræsentative person, såfremt en række anbefalinger vedr. placering af depotet og konditioneringen af affaldet overholdes. Dette er under hensyntagen til de usikkerheder de foretagne generiske beregninger blev foretaget med, og det svarer - uden inddragelse af denne usikkerhed - til overholdelse af en årlig tillæggsdosis til den samlede effektive dosis på 0,01 mSv i en 10.000 årig periode.</p>
<p>Hyppegheden af kortsigtet påvirkning over 1 mSv</p>	
<p>Hyppegheden af kortsigtede påvirkninger med en effektiv dosis for den repræsentative person på 1 mSv eller mere pga. uheldshændelser m.m. vil for hele mellemlagerets levetid ligge på omkring $5 \cdot 10^{-4}$, svarende til at der potentielt vil ske én sådan hændelse i løbet af 2000 år.</p>	<p>Hyppegheden af kortsigtede påvirkninger med en effektiv dosis for den repræsentative person på 1 mSv eller mere pga. uheldshændelser m.m. vil ligge mellem $2 \cdot 10^{-8}$ og $2 \cdot 10^{-4}$ afhængigt af depottype, svarende til at der potentielt vil ske én sådan hændelse i løbet af 5000 op til 50 mio. år.</p>

7.2 Økonomi

I forstudierne til slutdepot (Dansk Dekommissionering, 2011, kapitel 10) blev de samlede omkostninger til etablering af et slutdepot estimeret til mellem ca. 200 og ca. 800 mio. kroner afhængigt af depottype og den usikkerhed, der knyttede sig til estimatet. Disse omkostninger indeholdt ikke omkostninger til indledende konditionering af affald hos Risø, før det ville være muligt at flytte affaldet, og heller ikke transportomkostninger fra Risø til et slutdepot.

Ud over de ovenfor nævnte omkostninger kommer omkostninger mellem 1 og 5 mio. kroner til fyldmaterialer i slutdepotet og et ikke specificeret beløb til beholdere²³ til endnu ikke dekommissioneret affald på det pågældende tidspunkt. Disse omkostninger vil til dels være indeholdt i omkostningerne tilknyttet et mellemlager afhængigt af, hvorledes affaldet konditioneres på mellemlageret, og hvorledes det evt. emballeres yderligere²⁴ med henblik på slutdeponering. Endvidere skal der tillægges mellem ca. 30 og ca. 40 mio. kroner til den videre proces i tilknytning til beslutning, projektering m.m. for slutdepotet.

Etableres der et mellemlager vil dette, som det fremgår af Kapitel 5, medføre en omkostning på i størrelsesordenen mellem 1.100 og 2.200 mio. kroner. Det væsentligste bidrag til denne omkostning er aflønning af det til mellemlageret tilknyttede personale i en 100 årig periode. Dette estimat indeholder omkostninger til indledende konditionering af affald hos Risø, før det ville være muligt at flytte affaldet, men ikke transportomkostninger fra Risø til et mellemlager.

Hverken overslaget til slutdepot eller til mellemlageret omfatter omkostninger til særlig fundering eller evt. håndtering af forurenede jord.

Som nævnt tidligere vil oplagringen i et mellemlager i 100 år kunne medføre en reduktion af både mængden af affald og potentiel påvirkning fra dette i slutdepotet, hvilket principielt kan medføre lavere omkostninger til etablering af slutdepotet. Det er – som også tidligere nævnt – vanskeligt at vurdere den potentielle reduktion i affaldsmængden, som en gennemgående karakterisering og sortering af affaldet vil kunne medføre, også fordi denne proces i sig selv vil medføre produktion af nyt affald (f.eks. i form af kasserede beholdere og forbrukt arbejdstøj m.m.). Om den potentielle reduktion i langtidspåvirkning fra et slutdepot vil kunne medføre en reduktion i kravene til et slutdepot, herunder til de anvendte fyldmaterialer, kan først vurderes på baggrund af specifikke sikkerhedsvurderinger med udgangspunkt i den ændrede nuklidsammensætning af affaldet.

²³ En række forudsætninger vedrørende beholdernes udførelse var endnu ikke afklaret på rapporteringstidspunktet.

²⁴ Herunder valg af fyldmaterialer i og omkring containere.

Etablering af et mellemlager i 100 år vil således medføre en samlet meromkostning for den samlede håndtering af det radioaktive affald på i størrelsesordenen mellem 1.100 og 2.200 mio. kroner. Her skal det dog tages i betragtning, at en fortsat oplagring i Risø også giver anledning til omkostninger, hvis omfang vil afhænge af den periode, hvor dette er nødvendigt, beroende på hvor lang beslutnings- og udførelsesprocessen for henholdsvis et mellemlager og et slutdepot er.

I Tabel 7.2 er givet en sammenfatning af økonomien for både et mellemlager og et slutdepot. De indledende omkostninger vil omfatte yderligere forberedende studier samt projektering, arealerhvervelse, etablering og indretning af faciliteten samt indledende konditionering af affaldet²⁵. De yderligere omkostninger vil omfatte drift, herunder monitoring, dekommissionering og nedrivning for mellemlagerets vedkommende samt endelig lukning for slutdepotets vedkommende. For slutdepotløsningen er angivet et interval for omkostningerne svarende til de forskellige depottyper, inkl. de reversible løsninger. En slutdepotløsning med mulighed for udtagning af affald på et senere tidspunkt (en såkaldt reversibel løsning) vil forøge omkostningerne ved et slutdepot med anslået 10-25 %. Reversibilitet vil alt andet lige øge omkostningerne ved depotet med i størrelsesordenen 10 til 25 %, især afhængigt af depotets dybde. Heri indgår ikke udgifter til den efterfølgende håndtering af affaldet samt afrensning af beholdere og containere for fyldmateriale og efterfølgende håndtering af dette fyldmateriale, som må forventes at indeholde et vist niveau af aktivitet afhængigt af, hvor længe der går, inden affaldet tages ud.

Tabel 7.2 Sammenfatning af økonomi for mellemlager og slutdepot

	Sandsynlig pris, mio. kr.	Minimum pris, mio. kr.	Maksimum pris, mio. kr.
Mellemlager			
Indledende omkostninger	297	222	446
Yderligere omkostninger	1253	849	1743
Samlede omkostninger for et mellemlager	1.550	1.071	2.189
Slutdepot			
Indledende omkostninger	91 - 341	70- 277	120 - 414
Yderligere omkostninger	223 - 317	167 - 245	333 - 393
Samlede omkostninger for et slutdepot	314- 619	237 - 486	453 - 825

²⁵ For de forskellige slutdepottyper er de tidligere i afsnittet omtalte øvrige omkostninger medtaget i forhold til de angivne omkostninger i kapitel 10 i forstudierne til slutdepot (Dansk Dekommissionering, 2011)

8 Referencer

- > ANDRA (2006): Disposal facilities. Preserving a collective memory for future generations.
- > ANDRA (2015a): Rapport Annuel 2014. Centre de Stockage de L'Aube. Rapport d'information sur la sûreté.
- > ANDRA (2015b): Responsibility in action. 2014 Activity Report.
- > ANDRA (2015c): The waste disposal facility in the Aube District.
- > Atkins & Oslo Economics (2016): Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall. Kvalitetssikring (KS1) utarbeidet på oppdrag fra Finansdepartementet og Nærings- og Fiskeridepartementet.
- > Bennett, P. & Reistad, O. (2016): Hva gjør IFE med det historiske atomavfallet? Præsentation 10. februar 2016. Institutt for Energiteknikk (www.ife.no).
- > Braarud, P.Ø. (2015): An overall framework for the definition of requirements, criteria and human engineering discrepancies for control room validation. International Conference on Nuclear Plant Instrumentation, Control & Human-Machine Interface Technologies, 9. NPIC&HMIT 2015, Charlotte, North Carolina, 2015-02-23--02-26, p. 1082-1088.
- > COVRA (2013): Samenvatting. Milieueffectrapportage.
- > COVRA (2015a). Jaarrapport 2014
- > COVRA (2015b): Kerngegevens COVRA 2014
- > COVRA (2016a): Algemene Voorwaarden 2016
- > COVRA (2016b): Tarieven Ophaaldienst 2016
- > COVRA (2016c): Technische Voorwaarden 2016

- > Danish Decommissioning (2011a): Pre-feasibility study for final disposal of radioactive waste. Working Report 3. Nuclides in the waste.
- > Danish Decommissioning (2011b): Pre-feasibility study for final disposal of radioactive waste. Working Report 9. Overall groundwater model.
- > Danish Decommissioning (2011c): Pre-feasibility study for final disposal of radioactive waste. Working Report 6. Biosphere modelling
- > Danish Decommissioning (2011d): Pre-feasibility study for final disposal of radioactive waste. Working Report 14. Modelling of accidents.
- > Dansk Dekommissionering (2011): Forstudier til slutdepot for radioaktivt affald. Hovedrapport. Udarbejdet af COWI A/S for DD.
- > Dansk Dekommissionering (DD), De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) & Sundhedsstyrelsen, Statens Institut for Strålebeskyttelse (SIS) (2011): Forstudier til slutdepot for lav – og mellemaktivt affald – sammendrag indeholdende hovedkonklusionerne og anbefalinger fra tre parallelle studier. Rapport til den tværministerielle arbejdsgruppe vedr. udarbejdelse af beslutningsgrundlag med henblik på etablering af et dansk slutdepot for lav – og mellemaktivt affald.
- > Dansk Dekommissionering (2015): Årsrapport 2015. DD-77 (DA)
- > DMI (2012): Fremtidige klimaforandringer i Danmark. Danmarks Klimacenter rapport 12-04.
- > DMI (2014): Fremtidige klimaforandringer i Danmark. Danmarks Klimacenter rapport nr. 6.
- > DTU Nutech (2015): Radioactivity in the Risø District January-June 2015
- > Elfving, M.; Evins, L.Z.; Gontier, M.; Grahm, P.; Mårtensson, P. & Tunbrant, S. (2013): SFL concept study. Main report. Technical Report. TR-13-14
- > EU (2010): Konsolideret udgave af Traktaten om oprettelse af det Europæiske Atomenergifælleskab. 2010/C 84/01.
- > Fernandes, A., Braarud, P.Ø., Svengren, H. & Strand, S. (2015): A checklist for integrating and planning human factors engineering activities in control room modernization projects. International Conference on Nuclear Plant Instrumentation, Control & Human-Machine Interface Technologies, 9. NPIC&HMIT 2015, Charlotte, North Carolina, 2015-02-23--02-26.
- > Forshaug, E.; Jullum, R.; Parelius, O.- M. og Andresen, B. (2011): Etablering av nytt mellomlager for høyaktivt avfall. Lagringsbehov, alternative tekniske løsninger og momenter for valg av teknisk løsning og lokalisering.

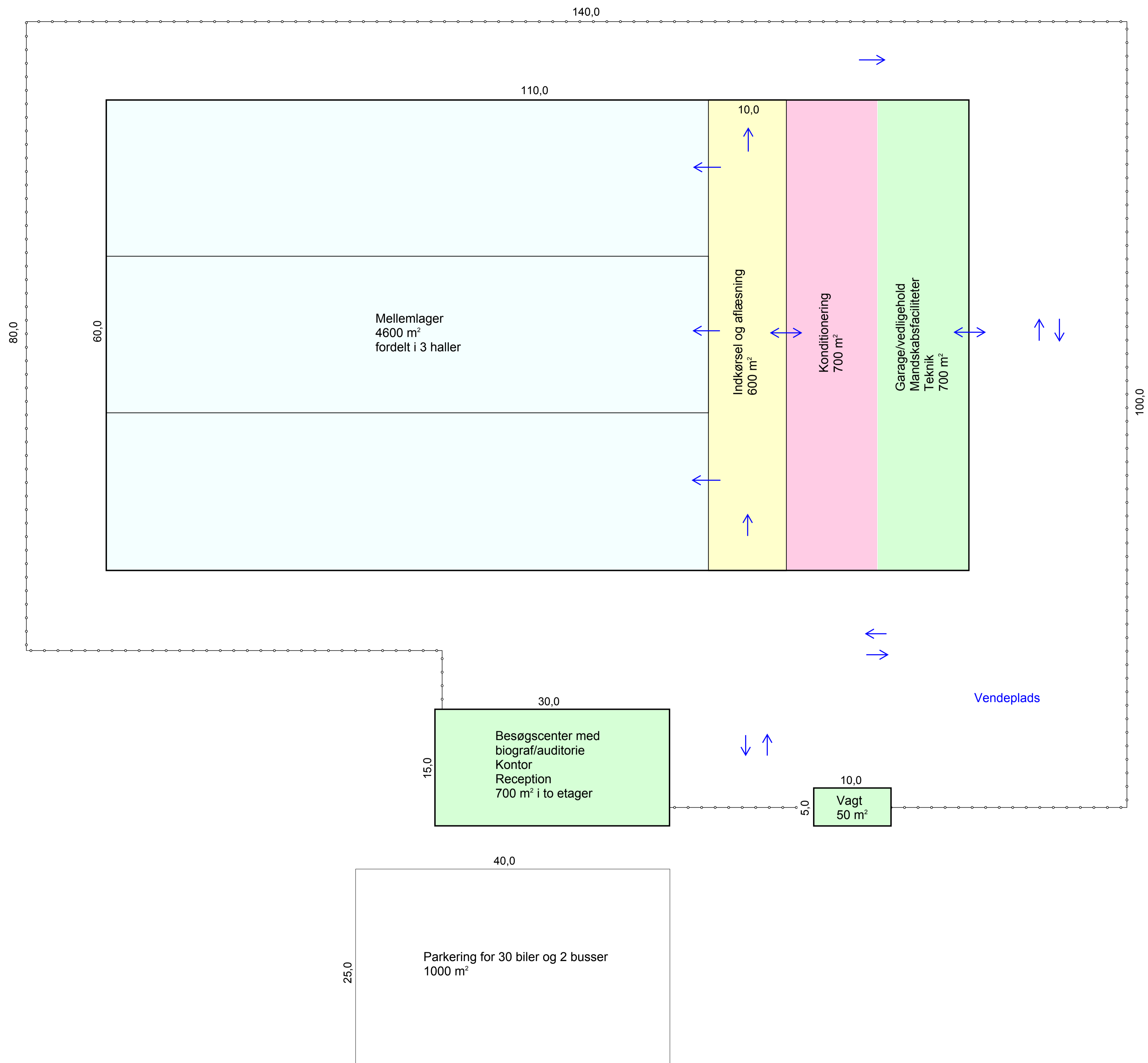
Utredning gennemført av Fase 1 - utvalget i perioden januar – juni 2004 på oppdrag fra Nærings- og handelsdepartementet.

- > Graham, P; Luterkort, D.; Mårtensson, P.; Nilsson, F.; Nyblad, B.; Oxfall, M. & Stojanovic, B. (2013): Technical design and evaluation of potential repository concepts for long-lived low and intermediate level waste. SFL Concept study. R-13-24.
- > Gravesen, P., Nilsson, B., Binderup, M., Larsen, T. & Pedersen, S.A.S. (2012): Lav -og mellem radioaktivt affald fra Risø, Danmark. Omegnsstudier. 6 rapporter publiceret i GEUS Rapport Serie.
- > IAEA (1997): Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safe of Radioactive Waste Management. IAEA information Circular.
- > IAEA (2003a): "The Long Term Storage of Radioactive Waste: Safety and Sustainability", A Position Paper of International Experts, International Atomic Energy Agency.
- > IAEA (2003b): Predisposal Management of Low and Intermediate Level Radioactive Waste. Safety Guide No. WS-G-2.5.
- > IAEA (2003c): Selection of efficient options for processing and storage of radioactive waste in countries with small amounts of waste generation. IAEA-TECDOC-1371.
- > IAEA (2005): Methods for maintaining a record of waste packages during waste processing and storage methods. Technical Reports Series No. 434.
- > IAEA (2006a): Fundamental Safety principles. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Safety Fundamentals No. SF-1.
- > IAEA (2006b): Storage of Radioactive Waste. Safety Guide. No. WS-G-6.1.
- > IAEA (2009c): Classification of Radioactive Waste. IAEA Safety Standards No. GSG-1.
- > IAEA (2011): Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision 5). Nuclear Security Series No 13.
- > IAEA (2013): The Safety Case and Safety Assessment for the Predisposal Management of Radioactive Waste. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, General Safety Guide No. GSG-3.
- > ICRP (2007): The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37 (2-4).
- > Lees, F P (1980): Loss Prevention in the Process Industries, 1st edition. Volume 2, 1980.

- > Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse (2008): Beslutningsgrundlag for et dansk slutdepot for lav- og mellemaktivt affald. Udarbejdet af en arbejdsgruppe under Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse (tidligere Indenrigs- og Sundhedsministeriet).
- > Ministeren for Sundhed og Forebyggelse (2009): Redegørelse om Beslutningsgrundlag for et dansk slutdepot for lav- og mellemaktivt affald. Præsenteret for Folketinget.
- > Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse (2014): Plan og miljøvurdering for etablering af slutdepot for dansk lav- og mellemaktivt affald.
- > Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse & Rambøll (2014): Forslag til "Plan for etablering af slutdepot for dansk lav- og mellemaktivt affald" med tilhørende scoping.
- > Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse (2015a): Plan og miljøvurdering for etablering af slutdepot for dansk lav- og mellemaktivt affald. Samlende redegørelse. Udarbejdet af Rambøll.
- > Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse (2015b): Beslutningsgrundlag for et dansk mellemlager for lav- og mellemaktivt affald. Udarbejdet af GEUS og DD for en Tværministeriel arbejdsgruppe.
- > Ministeriet for Videnskab og Teknologi (2003): Folketingsbeslutning om afviklingen af de nukleare anlæg på Forskningscenter Risø. 2002/1 BSV 48 af 13. marts 2003.
- > OECD (2006): The Roles of Storage in the management of Long-lived Radioactive waste. Practices and potentialities in OECD Countries. NEA No. 6043.
- > Overheid.nl (2016): Besluit Stralingsbescherming, gældende fra 1. januar 2015. <http://zoekdienst.overheid.nl/>
- > Pettersson, S. (2013): Feasibility study of waste containers and handling equipment for SFL. R-13-07.
- > Rådets direktiv (2009): Rådets Direktiv 2009/71/Euratom af 25. juni 2009 om EF-rammebestemmelser for nukleare anlægs nukleare sikkerhed.
- > Rådets direktiv (2011): Rådets direktiv 2011/70/EURATOM af 19. juli 2011 om fastsættelse af en fællesskabsramme for ansvarlig håndtering af brugt nukleart brændsel og radioaktivt affald.
- > Rådets direktiv (2014): Rådets direktiv 2013/59/Euratom af 5. december 2013 om fastlæggelse af grundlæggende sikkerhedsnormer til beskyttelse mod farer, som er forbundet med udsættelse for ioniserende stråling og om ophævelse af direktiv 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom og 2003/122/Euratom.

- > Sundhedsstyrelsen & Beredskabsstyrelsen (2015): Statusrapport for den nukleare sikkerhed. Statusrapport fra de nukleare tilsynsmyndigheder til sundheds- og ældreministeren
- > Sundhedsstyrelsen (1997): Bekendtgørelse om dosisgrænser for ioniserende stråling. BEK nr. 823 af 31/10/1997.
- > Svensk Kärnbränslehantering AB (2014): Waste form and packaging process report for the safety assessment SR-PSU. Technical Report TR-14-03.
- > Udenrigsministeriet (2005): Bekendtgørelse om Danmarks godkendelse af international fælles konvention af 5. september 1997 om sikker håndtering af brugt brændsel og radioaktivt affald. BKI nr. 41 af 10/12/2004.
- > Verhoef, E. & Welbergen, J. (2015): Design and Operational Aspects of the Interim Storage Facility in the Netherlands. COVRA N.V.

Bilag A Situationsplan



DANSK DEKOMMISSIONERING					
MELLEMLAGER FOR RADIOAKTIVT AFFALD					
Forslag A					
Situationsplan					
COWI	Udarbejdet af TFI	Dato 15-06-2016	Mål 1:500 i A3	Tegnings nr. SK-01	Rev. 1.0

Bilag B Evalueringsproces

Første punkt i løsningen af opgaven har været opstilling af dels en oversigt over hvilke delfaciliteter, et mellemlager skal omfatte, samt funktionskravene til disse, dels en oversigt over hvilke hændelser, der foreslås inkluderet i en evaluering af sikkerheden ved et mellemlager, samt hvorledes etableringen af et mellemlager vil influere på sikkerheden knyttet til et slutdepot.

Oversigten over mellemlagerets opbygning gav tillige forslag til, hvorfra data kan hentes fra allerede foreliggende materiale til brug for skitseringen af mellemlageret samt prissætningen af anlæg og drift af dette.

Sammen med Dansk Dekommissionering blev det aftalt, at der skulle tages udgangspunkt i Beslutningsgrundlagets specifikationer (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2015b), samt de i slutdepotrapporten foretagne skøn over arealbehov til de supplerende bygninger (udover selve mellemlageret/slutdepotet). Derudover vil de i slutdepotstudierne foretagne anlægs- og driftsoverslag (herunder omkostninger til ompakning og konditionering af affaldet) være et supplerende grundlag for det økonomiske overslag, idet nogle af disse udgifter vil være relativt sammenlignelige med tilsvarende udgifter for et mellemlager.

Udover ovenstående blev det foreslået og aftalt, at data vedr. krav til bygningsudformning og de dertil knyttede omkostninger primært ville blive indhentet hos COVRA suppleret med Studsvik Consulting AB's erfaringer.

Forudsætninger om indledende ompakning og konditionering af det eksisterende affald er diskuteret med Dansk Dekommissionering, herunder om en evt. ompakning skal foregå på mellemlageret eller før transporten hertil. Omfanget af den fremtidige modtagne affaldsmængde er ligeledes aftalt med Dansk Dekommissionering.

Oversigten over hændelser af relevans for en indledende sikkerhedsevaluering for et mellemlager er udarbejdet på basis af beslutningsgrundlaget for et slutdepot (Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2008) og forstudierne (Dansk Dekommissionering, 2011) samt generelt foreliggende viden, og denne er diskuteret med Dansk Dekommissionering og revideret på dette grundlag.

På basis af de indledende oversigter er der dels planlagt et besøg hos COVRA's mellemlager i Holland, som er det eneste eksisterende langtidsmellemlager, dels foretaget en gennemgang af foreliggende litteratur fra IAEA og ICRP vedr. krav til oplagring af radioaktivt affald, herunder krav til sikkerhedsvurderinger af disse, og endelig er der søgt indhentet foreliggende data m.m. fra andre europæiske lagre og overjordiske depoter for lavaktivt radioaktivt affald.

Der blev inden besøget hos COVRA fremsendt en række spørgsmål vedr. indretning, drift og økonomi til COVRA's kontaktperson. Disse spørgsmål blev gennemgået under besøget, og spørgsmål og svar har udgjort en del af grundlaget for nærværende studie.

Inden udarbejdelsen af den endelige rapport er der udarbejdet 2 grundlagsnotater om forudsætninger for henholdsvis indretning, drift og økonomi for mellem-lageret samt for de indledende sikkerhedsevalueringer. Disse grundlagsnotater er diskuteret med Dansk Dekommissionering for at sikre inddragelse af alle relevante forhold. Grundlagsnotaterne har tillige dannet grundlag for input fra Studsvik Consulting AB med hensyn til sikring af inddragelse af deres internationale erfaring.

Som led i nærværende indledende sikkerhedsevaluering er der således indhentet relevante data vedr.

- > mulige hændelser
- > sandsynlighed for disse
- > konsekvenser af hændelserne
- > mulig reduktion af hændelsernes indtræffen samt deres konsekvenser.

Data er hentet via foreliggende studier (primært via de udførte slutdepotstudier) samt via besøget hos og interviewet med den sikkerhedsmæssige ledelse af det hollandske langtidsmellemlager. Vurderingen af relevante hændelser er diskuteret med COVRA, som har givet deres evaluering af sandsynligheden for specifikke hændelser.

I forbindelse med evalueringen af betydningen af institutionel kontrol er Institutt for Energiteknikk (IFE) arbejdet med den menneskelige faktors betydning for opretholdelse af et sikkert system under drift inddraget.

Som grundlag for evalueringen af den potentielle langsigtede påvirkning fra mellem-lageret på repræsentative personer i den almene befolkning er der skelet til foreliggende målinger af den registrerede strålingsdosis ved grundgrænsen omkring det hollandske mellemlager og det franske deponi for lav- og mellemradioaktivt affald.

Bilag C Ordliste

Dette bilag indeholder en ordliste med kortfattede forklaringer til en række begreber. Forklaringerne er primært hentet fra Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse (2008).

Begreb	Betydning
α -stråling	Stråling bestående af positivt ladede heliumkerner. Har kort rækkevidde, men høj energi, og er derfor primært skadelig ved indtagelse af stof, der indeholder α -aktivitet.
β -stråling	Stråling bestående af elektroner/positroner (positivt ladede elektroner). Har længere rækkevidde end α -stråling.
γ -stråling	Elektromagnetisk stråling (det vil sige "i familie med lys- og radiobølger", men mere energirig). Udsendes normalt sammen med α - og β -stråling. γ -stråling rækker generelt længere end β -stråling.
A-bøtte	Beholder brugt til opbevaring af affald med et højt strålingsniveau og/eller et væsentligt indhold af fissilt materiale.
Aktivitet	Aktivitet er defineret som antallet af atomkerneomdannelser (henfald) pr. tidsenhed. Aktivitet måles i enheden becquerel (Bq). I en stofmængde, der indeholder en aktivitet på 1 Bq, henfalder ét atom pr. sekund.
ANDRA	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, det franske National Radioactive Waste Management Agency, driver bl.a. et depot for lav og mellemradioaktivt kortlivet affald, CSA, i Aube distriktet,
Barriere	En fysisk, kemisk eller menneskelig forhindring, der skal adskille affaldet fra mennesker og miljø, samt hæmme, reducere og forsinke udsivning af nuklider eller andre stoffer fra en facilitet, f.eks. et depot eller lager.
Becquerel (Bq)	Se aktivitet
COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval, det hollandske Central Organisation for Radioactive Waste, driver bl.a. et langtidsmellemlager for radioaktivt affald i Nieuwedorp i det sydlige Holland.
Datternuklid	Nuklid som dannes ved henfald af et andet nuklid, bruges f.eks. i forbindelse med beskrivelse af henfald af uran og plutonium.
Dosisbinding for erhvervs-mæssigt strålingsudsatte arbejdstagere	En dosisbinding er en brøkdel af strålingsgrænsen (se dosisgrænse). En dosisbinding fastsætter den maksimale årlige effektive dosis, en strålingsudsat arbejdstager må modtage fra alle arbejder og operationer i en praksis.

Dosisgrænse	Den grænse en strålingsdosis ikke må overskride på et år. For strålingsudsatte arbejdstagere er dosisgrænsen en effektiv dosis på 20 mSv/år. For befolkningen i Danmark er dosisgrænsen en effektiv dosis på 1 mSv/år for en given referenceperson. Dosisgrænser finder ikke anvendelse ved strålingsudsættelse fra naturligt forekommende strålingskilder (f.eks. kosmisk stråling og radon i boliger) og for medicinsk strålingsudsættelse (diagnostik og terapi).
GBq	1 GBq = 1 Giga becquerel = 10^9 becquerel. Se også aktivitet
Halveringstid	Den tid det tager før aktiviteten af en given isotop er faldet til det halve. Halveringstiden er forskellig for forskellige isotoper og kan være fra brøkdele af et sekund til hundredtusinder af år.
IAEA	International Atomic Energy Agency er en organisation under FN. Formålet med IAEA er at fremme sikkerhed og sundhed i forbindelse med udvikling af fredelige nukleare teknologier. IAEA driver og støtter forskningslaboratorier, udarbejder standarder, står for konventioner og udfører inspektioner for at sikre, at nukleare materialer alene anvendes til fredelige formål. IAEA's standarder er internationalt anerkendte, og anvendes som baggrund for national lovgivning og udarbejdelse af standarder, herunder i EU. Efterlevelse af anbefalingerne i standarderne anses internationalt for at være en væsentlig bestanddel af "best practice".
ICRP	The International Commission on Radiological Protection er et uafhængigt internationalt netværk af specialister inden for forskellige felter af strålingsbeskyttelse. ICRP tilbyder deres anbefalinger og rådgivning til myndigheder og operatører med ansvar inden for strålingsbeskyttelse. Selvom ICRP ikke har kompetence til at pålægge nogen deres forslag, følger praksis i mange lande tæt ICRP's anbefalinger.
IFE	Institutt for Energiteknikk, IFE driver et anlæg for behandling af fast og flydende lav- og mellemlageret radioaktivt affald fra industri og handel, forsvar, sundhedsvæsen og forskning. IFE har også ansvar for driften af det kombinerede lager og depot for lav- og mellemlageret radioaktivt affald i et fjeldanlæg i Himdalen i Aurskog-Høland kommune samt for forskningsreaktorerne i Kjeller og Halden.
Indtrængen	Hændelsesforløb, hvor mennesker eller dyr trænger ind (med eller uden overlæg).
Isotop	Atomere tilhørende samme grundstof, men med forskellige antal neutroner i kernen. Visse isotoper er ustabile (radioaktive), og vil spontant henfalde til et andet grundstof under afgivelse af ioniserende (radioaktiv) stråling.
Konditionering	Ved konditioneret affald forstås, at affaldet er pakket, emballeret og forseglet.
Kortlivet isotop	Isotop med en halveringstid på 30 år eller mindre.
Langlivet isotop	Isotop med en halveringstid på mere end 30 år.
Lavaktivt affald	Radioaktivt affald, der kan håndteres uden særlig strålingsbeskyttelse. Omfatter for eksempel kitler og afdækningsmateriale.

Mellemaktivt affald	Radioaktivt affald, der kræver afskærmning ved håndtering.
NEA	Nuclear Energy Agency er et specialiseret samarbejdsorgan uden formelle forpligtigelser under OECD. NEA har en "Radioactive Waste Management Committee" (RWMC), der udelukkende beskæftiger sig med forhold omkring radioaktivt affald. RWMC har blandt andet udarbejdet flere publikationer vedrørende beslutningsprocesser i forbindelse med håndtering af radioaktivt affald. RWMC udmærker sig således ved specifikt at have fokus på beslutningsprocesserne og de afledte reaktioner fra samfund og interessenter.
NORM	Naturally Occurring Radioactive Material; naturligt forekommende radioaktivt materiale, hvor menneskelig aktivitet har øget potentialet for strålingsudsættelse. Fx udtaget malm, tailings og belægninger på rør ved olie- og gasproduktion.
Praksis	En praksis er en planlagt drift af en facilitet, der anvender strålingskilder. Eksempler på en praksis er kernekraftværker, nukleare forskningscentre, medicinske røntgen- og strålingsterapiafdelinger og industrielle virksomheder, der anvender strålingskilder.
Referencedosis (dosisbinding) for befolkningen	Enkeltpersoner i befolkningen kan blive udsat for stråling fra mange forskellige menneskabte strålingskilder (praksisser). En enkelt praksis må derfor ikke kunne udsætte en repræsentativ gruppe i befolkningen for hele dosisgrænsen, der er en effektiv dosis på 1 mSv/år. Hver praksis har således en referencedosis, som en kritisk gruppe maksimalt må blive udsat for. I Danmark er referencedosis en effektiv dosis på 0,3 mSv/år pr. praksis, men sættes ofte lavere. Referencedosis bruges specielt i sikkerhedsanalyser og -vurderinger.
Sievert (Sv)	Måleenhed for strålingsdoser (se strålingsdosis) modtaget af mennesker. En millisievert (mSv) er en tusindedel sievert (Sv).
Sikkerhedsvurdering	En vurdering af alle aspekter af en praksis, der er relevant for beskyttelse og sikkerhed. For en given facilitet omfatter dette placering, konstruktion og drift af faciliteten.
Strålingsdosis	En strålingsdosis angiver den energi, strålingen har afsat pr. vægtenhed ved en bestråling. Enheden for dosis er Sv (sievert), hvor 1 Sv = 1 joule/kg. For en person, der eksempelvis har modtaget en dosis på 1 mSv (0,001 Sv = 0,001 joule/kg) til hele kroppen (kropsvægt på 70 kg), har strålingen afsat en samlet energi i hele kroppen på 70 kg x 0,001 joule/kg = 0,07 joule.
Tailings	Tailings består af rester efter uranekstraktionsprojekterne i 1970'erne og 80'erne med uranmalm fra Kvanefjeldet i Grønland. Disse tailings opbevares i dag under vand i to særlige bassiner, for at forhindre udsivning af den radioaktive gas radon.

