

ATKINS

oslo**economics**

Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall

Kvalitetssikring (KS1) utarbeidet på oppdrag fra
Finansdepartementet og Nærings- og
Fiskeridepartementet

15. april 2016



ATKINS

Atkins er et av verdens mest respekterte konsultentselskaper innen prosjektledelse og engineering av komplekse prosjekter. Vi verdsetter langsiktig samarbeid med våre kunder og partnere, og gjør vårt ytterste for å bidra til bærekraftig utvikling og vekst til beste for våre kunder og samfunnet – lokalt og globalt.

Atkins Norge er et av Norges ledende konsultentselskaper innen rådgivning, beslutningsstøtte, ledelse og styring av prosjekter. Vår kjernekompetanse er prosjektarbeid, og vi har siden oppstarten av Terramar i 1987 hatt sentrale roller i planlegging og gjennomføring av noen av de mest krevende prosjektene i Norge. Blant våre kunder finnes en rekke offentlige etater og de største aktørene i norsk næringsliv. Med virkning fra 2014 sluttet Terramar seg til Atkins – en av verdens største konsulent- og rådgivningsvirksomheter med ca. 18000 ansatte, hvorav ca. 700 i Skandinavia. Selskapet har sitt hovedkontor i Storbritannia og er notert på London Stock Exchange.

osloeconomics

Oslo Economics utreder økonomiske problemstillinger og gir råd til bedrifter, myndigheter og organisasjoner. Vår innsikt og analyse er basert på bransjeerfaring, sterk fagkompetanse og et omfattende nettverk av samarbeidspartnere. Vi er blant Norges ledende uavhengige samfunnsøkonomiske analysemiljøer og våre medarbeidere har erfaring fra offentlig forvaltning, forsknings- og analysemiljøer og næringslivet. Vi tilbyr analyse og rådgivning som del av regulatoriske prosesser, utredning av konseptvalg, kvalitetssikring, nytte-/kostnadsanalyser, sektoranalyser og evalueringer.

Kvalitetssikring av statlige investeringsprosjekter

Det er etablert en ordning med ekstern kvalitetssikring av statlige investeringsprosjekter med en antatt kostnad over 750 mill. kr. Ordningen omfatter kvalitetssikring av konseptvalg (KS1) og kvalitetssikring av kostnadsoverslag og styringsunderlag (KS 2). Atkins, Oslo Economics og Promis har sammen en rammeavtale med Finansdepartementet innen kvalitetssikring.

Oppdragsgiver	Finansdepartementet og Nærings- og fiskeridepartementet
Kontaktpersoner	Peder Berg, Finansdepartementet og Lidia Logacheva/Karl G. Johannesen, Nærings- og fiskeridepartementet
Rapportnavn	Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall. Kvalitetssikring (KS1) utarbeidet på oppdrag fra Finansdepartementet og Nærings- og Fiskeridepartementet
Dato	15. april 2016
Utarbeidet av	Atkins og Oslo Economics
Kontaktinformasjon	Oppdragsleder Erik Magnus Sæther, Oslo Economics, ems@osloeconomics.no , +47 940 58 192

KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall



Innholdsfortegnelse

Sammendrag og konklusjoner	6
1. Gjennomføring	20
2. Situasjonsbeskrivelse – radioaktivt avfall i Norge	22
3. Behovsanalyse	28
4. Strategidokument – mål	34
5. Overordnede krav	35
6. Mulighetsstudie	37
7. Alternativer i alternativanalysen	58
8. Kostnads- og usikkerhetsanalyse	65
9. Kvalitetssikrers samfunnsøkonomiske analyse	69
10. Samlet vurdering og anbefaling	82
11. Føringer for forprosjektfasen	86

Sammendrag og konklusjoner



Sammendrag og konklusjoner

Norge har i dag 17 tonn langlivet radioaktivt avfall i form av brukt reaktorbrensel fra driften av IFEs to forskningsreaktorer på Kjeller og i Halden. I tillegg har vi andre typer radioaktivt avfall med ulik strålingsaktivitet og halveringstid. Denne rapporten tar for seg håndteringsstrategier for langsiktig oppbevaring av radioaktivt avfall i Norge.

Brukt brensel av metallisk uran ble brukt i IFEs tidlige nukleære forskning og har ligget lagret hos IFE siden 1960-tallet. Brenselet er kjemisk reaktivt (ustabilt¹) og potensielt selvantennelig ved kontakt med luft. Det er derfor ikke egnet for langtidslagring. På noen av dagens lagerposisjoner er det oppdaget tegn til korrosjon, og det er derfor mistanke om at grunnvann lekker inn i lagerbrønnene. Dette kan medføre fare for radioaktive utslipp til nærmiljøet og forsterker behovet for en snarlig stabilisering av denne avfallstypen. Håndtering av metallisk brukt brensel er derfor blitt prekært for å sikre en forsvarlig oppbevaring av radioaktivt avfall i Norge.

Den eneste kommersielt tilgjengelige metoden for å stabilisere metallisk brukt brensel per i dag er kjemisk reprosessering i utlandet. Prosessen frem til brenselet kan sendes til et anlegg er tidkrevende, derfor bør den settes i gang så raskt som mulig. Før brenselet kan transporteres må eventuelle korrosjonsskader behandles. Dersom dagens lagre ikke lenger vurderes som forsvarlige er det også behov for innkjøp av nye lagre (beholdere) i påvente av forsendelse til reprosesseringsanlegg i utlandet.

Nærings- og fiskeridepartementet har fått utarbeidet konseptvalgutredningen (KVU) «Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall». Atkins Norge og Oslo Economics har på oppdrag av Nærings- og fiskeridepartementet og Finansdepartementet gjennomført kvalitetssikring KS1 i henhold til statens prosjektstyringsmodell. Nukleære eksperter fra Atkins Energy UK har bistått i arbeidet. Kvalitetssikringen er blitt gjennomført i perioden august 2015 - april 2016.

Norges radioaktive avfall kommer fra ulike kilder. Institutt for Energiteknikk (IFE) har to atomreaktorer i drift for nukleær forskning; en på Kjeller, ved Lillestrøm, og en i Halden. Reaktordriften skaper radioaktivt avfall i form av brukt brensel og driftsavfall som er forurenset med radioaktivitet. Sykehus, industri, forsvar og andre aktører produserer også noe radioaktivt avfall, inkludert mindre aktive kilder som røykvarselere og exit-skilt. Alt radioaktivt avfall fra andre kilder enn IFE leveres inn til Radavfallsanlegget på IFEs lokasjon på Kjeller, som håndterer slikt avfall.

Norge har i dag omkring 17 tonn brukt brensel fra IFEs reaktordrift, og alt dette oppbevares i dag i lagre på IFEs områder på Kjeller og i Halden. Det er tre typer brukt brensel: Metallisk brukt brensel fra den tidlige atomforskningen, oksidbrensel med aluminiumskapsling og oksidbrensel med zirkoniumkapsling. I dag produseres det kun oksidbrensel med aluminiumskapsling fra reaktoren på Kjeller og kun oksidbrensel med zirkoniumkapsling fra reaktoren i Halden. IFE estimerer at lagringskapasiteten vil være nådd i 2024 i Halden, og i 2032 på Kjeller ved fortsatt reaktordrift. I tillegg til brukt reaktorbrensel lagres 4 tonn annet langlivet og mellomaktivt radioaktivt avfall på Kjeller.

Denne rapporten omhandler ikke såkalt TENORM-avfall² fra petroleumsindustrien eller fra gruvedrift.

¹ Når brukt brensel og avfall omtales som "ustabilt" menes at fortsatt lagring av dette avfallet er forbundet med en risiko for kjemiske eller nukleære reaksjoner eller at radioaktive materialer kan lekke ut i omgivelsene. Dette til forskjell fra vanlig bruk av begrepet ustabilitet i nukleær sammenheng, som beskriver en egenskap ved kjernen i atomer som gjør at disse er radioaktive. Dette er nærmere omtalt i avsnitt 2.1.

² Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials

Figur 0-1: Kilder til radioaktivt avfall i Norge

Bilde: IFE		Reaktor i Halden (HBWR): Forskning på atomsikkerhet, reaktorbrensel og reaktormaterialer	Avfall (kg)	Metallisk brensel	Oksidbrensel zircaloykapslet
			Produsert per 2015	~6 700	~5 000
			Årlig tilførsel		~80
Bilde: IFE		Reaktor på Kjeller (Jeep II): Materialforskning, fremstilling av radioaktive isotoper	Avfall (kg)	Metallisk brensel	Oksidbrensel aluminiumkapslet
			Produsert per 2015	~3 100	~1 800
			Årlig tilførsel		~45
Bilde: Wikimedia		Bilediagnostikk sykehus, utstyr petroleumsindustri, forsvarsutstyr, røykvarsler, legemiddelproduksjon, mv.	Avfall (tønner)	Avfall til Himdalen-dep.	Avfall ikke til Himdalen-dep.
			Produsert per 2015	~5 800	~700*
			Årlig tilførsel	~180	

Radioaktivt avfall er definert som avfall med en radioaktiv stråling over gitte grenseverdier. Noe av avfallet, som brukt brensel, er høyaktivt og direktekontakt med dette er umiddelbart dødbringende. Andre deler av avfallet er lav- eller mellomaktivt, og hoveddelen av dette kan lett håndteres uten fare for helse eller miljø. Det stilles nødvendigvis svært høye krav til sikkerheten rundt lagring og håndtering av det høyaktive avfallet, mens kravene til oppbevaring av det lavaktive avfallet i hovedsak er knyttet til å unngå ukontrollert spredning av strålekilder som kan utgjøre et miljø- eller helseproblem.

Avfallets halveringstid er den andre avgjørende faktoren for oppbevaringsstrategi. Strålingen fra noen strålekilder avtar i løpet av kort tid, eksempelvis i løpet av noen timer for flere Cesium-isotoper, noe som gjør at det stilles lavere krav til langsiktig sikkerhet for dette avfallet. Annet avfall er langlivet med halveringstid på flere hundre tusen år, deriblant bestrålt uran i brukt reaktorbrensel. Langlivet avfall må på et tidspunkt deponeres, noe som innebærer at man etablerer en langsiktig oppbevaringsløsning som sikrer at radioaktiviteten ikke lekker ut i omgivelsene, uavhengig av menneskelig overvåkning. Når avfallet er deponert skal det ikke medføre kostnader for fremtidige generasjoner.

Det er i dag usikkert hvor lenge IFEs atomreaktorer på Kjeller og i Halden vil holdes i drift. Verken KVV eller kvalitetssikrer tar stilling til hvor lenge reaktorene skal driftes, men tidsperspektivet for drift påvirker i høy grad de aktuelle strategiene for avfallshåndtering. Analysene er derfor presentert for ulike scenario for videre drift. Parallelt med dette oppdraget har kvalitetssikrer også gjennomført en kvalitetssikring av KVV for dekommisjonering av de nukleære anleggene i Norge. Her beregnes kostnadene ved en nedstegning av IFEs atomreaktorer og opprydning av områdene. Kostnadene for dette er således frakoblet kostnadene som presenteres her for en forsvarlig oppbevaring av avfallet. Ved en eventuell nedstengning av reaktorene vil kostnadene som er beregnet i rapporten for dekommisjoneringen komme i tillegg til kostnadene som er beregnet i denne rapporten. Alle anbefalinger som presenteres i denne rapporten for nødvendige tiltak for å sikre forsvarlig oppbevaring av radioaktivt avfall er uavhengige av tidspunktet for dekommisjonering.

Behov

Som del av konseptvalgutredningen er det gjort en omfattende kartlegging av behov. Deler av det norske radioaktive avfallet må stabiliseres før det kan deponeres. Det metalliske brukte brenselet er spesielt utstabilit fordi det kan reagere med vann og bli selvantennelig, og denne brenselstypen egner seg derfor ikke til langtidslagring. Det er funnet fukt i dagens lagre for metallisk brensel på Kjeller, som kan forårsake korrosjon og brudd på kapslingen rundt brenselet. På bakgrunn av dette utfører IFE nå undersøkelser av lagrene og tester grunnen rundt lagrene for lekkasjer av radioaktivt avfall. Dersom disse undersøkelsene konkluderer med at dagens lagre ikke lenger er forsvarlige, må en ny oppbevaringsløsning på plass umiddelbart. Før dette brenselet kan transporteres til et anlegg for stabilisering, vil brenselet måtte behandles for uranhydrid

og korrosjon på kapslingene som har oppstått. Det er behov for å stabilisere denne typen brukt brensel så fort som mulig.

Stabilisering kan skje gjennom såkalt reprosessering, der uran og plutonium skilles ut for videre bruk som brensel i kjernekraftreaktorer, mens de radioaktive avfallsproduktene konsentreres og blandes med glass.

Det er behov for å etablere to typer deponier for radioaktivt avfall. Lav- og mellomaktivt radioaktivt avfall deponeres i dag i KLDRA (Kombinert Lager og Deponi for lav- og middelsaktivt Radioaktivt Avfall) i Himdalen i Aurskog-Høland kommune. Dette anlegget vil gå fullt innen få år, og det er derfor behov for å etablere et nytt deponi av samme type.

For langlivet avfall, inkludert brukt brensel, har Norge i dag ingen deponiløsning. Per i dag eksisterer det ikke noen deponiløsning for slikt avfall noe sted i verden, men såkalte geologiske deponier er under planlegging/bygging i Sverige og Finland. Norge har også behov for å etablere et deponi for langlivet radioaktivt avfall på lang sikt.

Det vil ta lang tid å etablere et deponi for langlivet radioaktivt avfall. I påvente av dette må avfallet oppbevares i et såkalt mellomlager. Det er i dag mellomagre for brukt brensel i Halden og på Kjeller, men disse lagrene er i ferd med å gå fulle. Det er derfor behov for utvidet lagringskapasitet for brukt brensel.

Følgende tre prosjektuløsende behov foreslås definert for tiltaket:

1. Behov for å stabilisere ustabilt brukt metallisk brensel.
2. Behov for å få ny oppbevaringskapasitet før dagens lagre på Kjeller og i Halden og dagens deponi i Himdalen blir uegnede eller fulle.
3. Behov for å etablere en forsvarlig oppbevaringsløsning for langlivet avfall som ikke belaster kommende generasjoner.

Det siste prosjektuløsende behovet er basert på prinsippet om at forurensere skal betale, som også impliserer at hver generasjon skal rydde opp i eget avfall. Kvalitetssikrer vektlegger dette prinsippet.

Strategikapitlet (tiltakets mål)

KVU-en har formulert et samfunns mål som vektlegger behovene på lang sikt. Kvalitetssikrer mener det er viktig å understreke at behandlingen av avfallet må være forsvarlig også på kort sikt. Forholdene knyttet til lagrene for det metalliske brukte brensel er i dag av en slik karakter at det haster med å gjennomføre tiltak. Kvalitetssikrers forslag til samfunns mål blir dermed:

Forsvarlig oppbevaring av brukt brensel og annet norsk radioaktivt avfall i et kortsiktig og langsiktig perspektiv.

KVU-en oppstiller fire effektmål:

Anleggene for oppbevaring av norsk radioaktivt avfall ...

E1: ... har tilstrekkelig kapasitet til å oppbevare brukt brensel og annet radioaktivt avfall på en forsvarlig måte

E2: ... gir ikke skadelige strålingsvirkninger på menneskers helse

E3: ... gir ingen skadelige virkninger på miljøet

E4: ... oppleves som sikre og trygge så kvaliteten på nærområdene ikke påvirkes negativt av anleggene

Kvalitetssikrer supplerer med et femte effektmål:

E5: ... og systemene knyttet til anleggene skal være utformet på en måte som sikrer at forurensere betaler, og at ikke utilbørlige byrder legges på fremtidige generasjoner.

Med disse endringene anses målene å være konsistente med behovsanalysen.

Overordnede krav

Kravene som stilles til tiltaket bør gjelde både for gjennomføringen av tiltaket og slutttilstanden. KVVU-en stiller absolutte krav til akseptabel risiko for helse- og miljøskadelige virkninger, og krav til sikkerhet mot tyveri. I tillegg stilles det som bør-krav at anleggene ikke bare skal være sikre og trygge, men at de også oppleves slik.

Kvalitetssikrer anser at disse kravene er konsistente med behov og mål, men det savnes krav knyttet til at forurenser skal betale, at løsningene som velges bør anvende utprøvd teknologi, og være i tråd med nasjonalt regelverk og internasjonale avtaler.

Mulighetsstudien

Mulighetsrommet for oppbevaring av radioaktivt avfall er omfattende. Forskjellige muligheter eksisterer for ulike typer avfall. Teknologiene er under stadig utvikling, og det er til dels faglig uenighet om hvilke muligheter som er eller vil bli tilgjengelig i nær fremtid, og hvilke avfallstyper muligheten er relevant for.

Også regelverket, som er en viktig rammebetingelse for mulighetsrommet, er til dels vanskelig å få begrep om, både fordi regelverket i Norge ikke alltid er likt som regelverket i andre land eller følger internasjonal bestepaksis, og fordi regelverket i Norge kan ventes å være under utvikling over tid.

Vi har vurdert mulighetsrommet for stabilisering av avfall, mellomlagring av avfall, deponering av avfall og salg/eksport/retur av avfall.

Stabilisering kan grovt sett skje i form av kjemisk stabilisering, hvor reprosessering er den vanligst forekommende metoden, fysisk stabilisering, eller nukleær stabilisering³.

Mellomlagring kan skje i ulike typer beholdere, våtlagre, hvelv og ligende. Mellomlager er ingen varig løsning, fordi lagring alltid krever driftskostnader knyttet til vedlikehold og overvåkning.

Den eneste varige løsningen for radioaktivt avfall er deponering. Deponering innebærer at avfallet oppbevares uten risiko for utslipp til miljøet til evig tid, i en løsning som ikke avhenger av menneskelig overvåkning og vedlikehold.

Det stilles ulike krav til deponering for ulike avfallstyper, men i hovedsak er det slik at kortlivet avfall deponeres i anlegg av KLDRA-typen (grunne deponier) mens langlivet avfall deponeres i anlegg av den svenske/finske typen (dypdeponi/geologisk deponi). Det er likevel også en rekke andre deponityper som er vurdert i ulike land, med borehull som et eksempel.

Flere land, inkludert Norge, har returnert brukt brensel til opprinnelsesland. Andre typer radioaktivt avfall kan ha en kommersiell gjen- eller viderebruksverdi, og kan dermed selges til andre land. Det kan også være tenkelig at andre større atomnasjoner kan ta i mot Norges avfall for behandling/oppbevaring.

Kvalitetssikrer viderefører i all hovedsak de samme mulige løsninger til alternativanalysen som KVVU-en, men har satt sammen alternativene noe ulikt. Basert på de prosjektutløsende behovene legger kvalitetssikrer til grunn at alle tiltaksalternativer inkluderer stabilisering av ustabilt avfall, mellomlager og deponi for langlivet avfall.

Alternativanalysen

Det er i KVVU-en vurdert totalt fire konsepter som alternativer til referansealternativet (nullalternativet). Alternativene betegnes som tiltaksalternativer, i motsetning til referansealternativet. Kvalitetssikrer har i sin alternativanalyse gjort noen endringer i disse alternativene (i forståelse med oppdragsgiver). Tabellen

³ Transmutasjon: reduksjon av andelen langlivede isotoper i radioaktivt avfall ved bestråling i reaktorer. Langlivede isotoper omgjøres til andre, mer kortlivede isotoper.

nedenfor gir en kortfattet beskrivelse av alternativene i KVU-en og kvalitetssikrers analyse, og de viktigste forskjellene mellom disse alternativene.

Tabell 0-1: Sammenlikning av alternativene i KVU/KS1

KVU-ens alternativer		KS1-alternativer		Viktigste forskjeller
0	Ingen stabilisering. Fortsatt lagring på dagens lokasjoner. Metallisk brensel i nye lagringsbeholdere. Bygge nye KLDRA.	0	Ingen stabilisering. Fortsatt lagring på dagens lokasjoner. Metallisk brensel i nye lagringsbeholdere. Bygge nye KLDRA.	Konseptuelt likt.
1	Ingen stabilisering. Nytt mellomlager på én lokasjon. Bygge nye KLDRA.	I	Reposessering kun metallisk brensel. Fysisk stabilisering aluminiumskapslet brensel. Nytt mellomlager på én lokasjon. Bygge dypdeponi og nye KLDRA.	Stabilisering av det ustabile brenset og bygging av dypdeponi i KS1.
2	Reposessering alt ustabilt brensel. Etablering av nytt mellomlager. Bygge dypdeponi og nye KLDRA.	II	Reposessering alt ustabilt brensel. Mellomlager i beholdere. Bygge dypdeponi og nye KLDRA.	Konseptuelt likt.
3	Reposessering alt ustabilt brensel. Etablering av nytt mellomlager. Få tilgang til dypdeponi i utlandet. Bygge nye KLDRA.			Alternativet er heller inntatt som opsjon i kvalitetssikringens alternativ II.
4	Reposessering alt brensel. Mellomlagre brensel i KLDRA og nye KLDRA.	IV	Reposessering alt brensel. Mellomlager i beholdere. Bygge dypdeponi og nye KLDRA.	Bygging av mellomlager og dypdeponi i KS1.

Det er usikkerhet knyttet til hvor lenge de to reaktorene vil være i virksomhet. KVU-en håndterer dette ved å analysere alle alternativer i tre ulike scenarier; ett hvor begge reaktorer stenger ned snarlig, ett hvor begge reaktorer er i drift i hele den hundreårige analyseperioden, og ett hvor den ene stenges ned og den andre videreføres. Kvalitetssikrer har begrenset dette til å se på to scenarier, ett med snarlig nedstengning av begge reaktorer og et annet med nedstengning av begge reaktorer mot slutten av analyseperioden på 100 år.

Kvalitetssikrers kostnads- og usikkerhetsanalyse

Kvalitetssikrer har gjennomført en selvstendig kostnads- og usikkerhetsanalysen. Det er store forskjeller mellom anslagene for investeringskostnader i KVU-en og i kvalitetssikrers analyse. Dette skyldes både at alternativene i noen grad har ulikt innhold, men også betydelige endringer i basiskostnadsestimater, særlig knyttet til reposessering og bygging av dypdeponi. For disse betydelige kostnadsmomentene har kvalitetssikrer benyttet kostnadsanslag fra reposesseringsaktøren Areva i Frankrike og den finske utbyggeren av dypdeponi, Posiva.

Usikkerheten i estimatene er jevnt over betydelig, men varierer i liten grad mellom tiltaksalternativene. Mindre forskjeller mellom forventningsverdiene bør derfor tillegges begrenset vekt.

Tabell 0-2: Investeringskostnader for delkomponenter i alternativene, ved tidlig nedstengning (Mill. NOK, prisnivå KVU: 2014, KS1: 2016)

Millioner NOK, forventnings-verdi investering	Planlegging		Stabilisering		Mellomlagring		Deponering (Inkl. KLDRA)		Totalt	
	KVU	KS1	KVU	KS1	KVU	KS1	KVU	KS1	KVU	KS1
0	0	0	0	0	370	760	550	600	920	1 360
1a/I	0	35	0	2 330	670	460	560	9 880	1 230	12 690
2/II	0	35	470	2 570	400	370	2 250	9 780	3 120	12 750
4/IV	0	35	690	3 650	80	150	600	9 410	1 370	13 260

NB: På grunn av avrunding summerer ikke kolonnene seg nøyaktig til total.

Kvalitetssikrers samfunnsøkonomiske analyse

I de prissatte virkningene i den samfunnsøkonomiske analysen inntas også driftskostnader og skattefinansieringskostnader, og beløpene neddiskonteres til referanseåret (2016). Resultatene av analysen, målt som nåverdien av nettonytte, er vist under:

Tabell 0-3: Resultater fra kvalitetssikrers analyse av prissatte virkninger, investering og drift (Mill. NOK), netto nåverdi

	Alternativ	Planlegging og administrasjon	Stabilisering	Mellomlagring	Deponi	Totalt
Stans 2020	0 Referansealternativ	0	0	-2 070	-1 100	-3 170
	I Minimal reprosessering	-170	-2 100	-1 080	-4 980	-8 340
	II Reprosesser alt ustabilt	-170	-2 280	-990	-4 940	-8 380
	IV Full reprosessering	-170	-3 160	-550	-4 820	-8 700
Stans 2100	0 Referansealternativ	0	0	-3 520	-1 060	-4 580
	I Minimal reprosessering	-220	-1 870	-2 700	-2 090	-6 880
	II Reprosesser alt ustabilt	-220	-2 270	-2 350	-2 060	-6 890
	IV Full reprosessering	-220	-3 360	-2 100	-2 050	-7 730

Kvalitetssikrer mener at det er en rekke ikke-prissatte virkninger som også påvirker hvilket alternativ som er mest samfunnsøkonomisk lønnsomt. Dette skiller seg noe fra KVU-en, som har tillagt de ikke-prissatte virkningene liten vekt. Kvalitetssikrer har beskrevet seks ikke-prissatte virkninger, og verdsatt disse ved hjelp av pluss-minus-metoden. Fem plusser betyr at virkningen har stor positiv konsekvens sammenlignet med i nullalternativet, fem minus at virkningen har stor negativ konsekvens sammenlignet med i nullalternativet:

Tabell 0-4 Samfunnsøkonomisk analyse - ikke-prissatte effekter

	Alternativ	Redusert risiko helse-skader	Redusert risiko miljø-skader	Styrket samfunns-sikkerhet	Redusert verdi av nær-områder	Redusert opplevd trygghet	Styrket inter-nasjonalt omdømme	Rang
Stans 2020	I Minimal reprosessering	+++	+++	+++	-	-	+(+)	3
	II Reprosesser alt ustabil	+++(+)	+++(+)	+++	-	-	+(+)	2
	IV Full reprosessering	++++	++++	+++	-	-	+(+)	1
Stans 2100	I Minimal reprosessering	+++	+++	+++	-	-	+	3
	II Reprosesser alt ustabil	+++(+)	+++(+)	+++	-	-	+	2
	IV Full reprosessering	++++	++++	+++	-	-	+	1

Alle tiltaksalternativene er vesentlig mer samfunnsøkonomisk lønnsomme enn nullalternativet, når man kun betrakter de ikke-prissatte virkningene. Forskjellen mellom alternativene innenfor hvert scenario og mellom de to scenariene er begrensede, men alternativ IV er noe å foretrekke fremfor alternativ II, som igjen er noe å foretrekke fremfor alternativ I, når man kun legger de ikke-prissatte virkningene til grunn.

Kvalitetssikrer har også vektlagt fordelingsvirkningen som består i en overføring av byrder fra vår generasjon til kommende generasjoner. En slik byrdeoverføring er i strid med prinsippet om at forurensere betaler, slik det er beskrevet både av IAEA og i den norske forurensningsloven. I nullalternativet stabiliseres ikke utstabilit avfall og det etableres ikke deponi for langlivet avfall. Disse kostnadskrevende prosessene vil da måtte gjennomføres av fremtidige generasjoner, som ikke har skapt avfallet eller fått del i gevinstene ved virksomheten. Det knytter seg derfor en betydelig negativ fordelingseffekt til nullalternativet.

Nullalternativet gir noen realopsjoner som kan tillegges vekt. En utsettelse av beslutning om dypdeponi muliggjør at et deponi kan nyttegjøre seg ny teknologi eller bedre muligheter til internasjonalt samarbeid som potensielt kan oppstå med tiden. Dersom en slik opsjon materialiserer seg, kan den ha betydelig verdi. Hvis alt brukt brensel sendes til reprosessering og avfallet returneres som mellomaktivt, i stedet for høyaktivt avfall, kan dette i fremtiden komme til å innebære muligheter for et noe enklere deponi. Per i dag finnes det likevel ingen påvist forsvarlig løsning for et slikt enklere deponi for langlivet avfall.

Tilrådning

Når kvalitetssikrer sammenstiller alle virkninger, fremkommer en anbefaling i hvert av de to scenariene, basert på hvilket alternativ som anses å være mest samfunnsøkonomisk lønnsomt:

Tabell 0-5: Rangering av KS1-alternativer

	Alternativ	Prissatt netto nytte, relativt til referanse-alternativet	Ikke prissatte virkninger (rang)	Fordelingsvirkninger (rang)	Realopsjoner (rang)	Samlet rangering
Stans 2020	0 Referanse-alternativ	-	4	4	1	4
	I Minimal reprosessering	-5 170	3	1	3	3
	II Reprosesser alt ustabilt	-5 210	2	1	3	1
	IV Full reprosessering	-5 530	1	1	2	2
Stans 2100	0 Referanse-alternativ	-	4	4	1	4
	I Minimal reprosessering	-2 300	3	1	3	3
	II Reprosesser alt ustabilt	-2 310	2	1	3	1
	IV Full reprosessering	-3 150	1	1	2	2

Det er relativt små forskjeller mellom de ikke-prissatte virkningene (inkludert fordelingsvirkninger og realopsjoner) for de tre tiltaksalternativene. Forskjellen er noe større for de prissatte virkningene, der alternativ IV Full reprosessering kommer dårligere ut enn alternativene I og II. Samlet sett anbefales derfor alternativ II, med reprosessering av alt ustabilt brukt brensel. Nullalternativet frarådes, da dette alternativet ikke løser noen av de prosjektutløsende behovene, og kommer svært dårlig ut av vurderingen av de ikke-prissatte virkningene. Anbefalingen er lik uavhengig av reaktorenes nedstengningstidspunkt.

Anbefalingen innebærer også en videreføring av dagens praksis for håndtering av kortlivet radioaktivt avfall, med videreføring av radavfallsanlegg og utvidelse av deponikapasitet ved etablering av nytt (eller utvidet) KLDRA.

Det finnes en rekke varianter av de alternativene som er analysert i alternativanalysen. Det vil være viktig å holde mulighetene åpne i så stor grad som mulig, så lenge det er forsvarlig ut fra et gjennomførings- og kostnadsperspektiv. Som et eksempel vil omfanget av reprosessering kunne avhenge av endelig pristilbud fra en reprosesseringsaktør. Selv om alternativanalysen kostnadsestimerer bygging av et dypdeponi etter svensk/finsk modell i Norge, bør døren holdes åpen for internasjonalt samarbeid, som vil kunne være meget kostnadsbesparende.

Plan for videre arbeid

Kvalitetssikrer beskriver åtte tiltak som bør gjennomføres for å realisere en god løsning for oppbevaring av norsk radioaktivt avfall på kort og lang sikt. Tiltakene er prioritert etter hvor mye det haster med igangsettelse:

1. **Sikre forsvarlig mellomlagring av brukt brensel:** Det metalliske brenselet må kontrolleres og behandles slik at det er egnet for mellomlagring og transport til stabilisering (reprosessering).

Konkrete oppgaver vil være tilstandsundersøkelse, detaljert planlegging for behandling og videre oppbevaring, investering i hot cell, kjøp/leie av casks (inkludert lisensiering), avklaringer med Areva.

2. **Undersøke mulighet for retur/eksport av brukt brensel.** En retur-/eksportløsning vil kunne være meget kostnadseffektiv, særlig dersom alt brukt brensel kan sendes. IFE har et stykke på vei undersøkt mulighetene for retur/eksport, og mener dette ikke er en aktuell løsning. Det bør vurderes kontakter på politisk nivå før løsningen forkastes.
3. **Igangsett prosess for å muliggjøre reprosessering:** For å muliggjøre en så rask reprosessering som mulig, må følgende kjede av aktiviteter igangsettes snarest: Pre-feasibility study, inngå medlemskap i forskningsprogram, feasibility study, Avklaring av fordeler og ulemper med retur som HLW eller ILW, forhandling om internasjonal avtale med Frankrike, prisforhandlinger med Areva.
4. **Avdekk mulige alternativer til reprosessering hos Areva:** Det bør avdekkes om det finnes andre reprosesseringsanlegg som kan ta i mot norsk avfall og som er politisk akseptable, for eksempel i Japan, Russland, Kina, Storbritannia. Det bør også avdekkes om andre stabiliseringsformer kan være aktuelle.
5. **Avklar organisering for håndtering av radioaktivt avfall:** Internasjonal bestep praksis er et skille mellom avfallsprodusenter og avfallsmottager. Et slikt skille bør etterstrebes også i Norge.
6. **Sikre at forurensere betaler for håndtering og oppbevaring av radioaktivt avfall:** Et system, muligens etter finsk eller svensk modell, som sikrer en finansiering av avfallshåndteringen som er i tråd med forurensere betaler-prinsippet, bør etableres også i Norge.
7. **Start planlegging av nytt KLDRA:** Et nytt KLDRA bør stå klart i 2025. Anlegget kan i stor grad bygges etter modell av dagens KLDRA, men det er likevel viktige avklaringer som må gjøres knyttet til lokalisering og regelverk/konsesjon.
8. **Undersøk muligheten for internasjonalt samarbeid om dypdeponi:** Det bør tas kontakt på politisk nivå mot IAEA, EU og enkeltnasjoner for å forsøke å igangsette et bredere internasjonalt samarbeid. Dersom dette viser seg umulig, må det igangsettes planlegging av dypdeponi i Norge. Som del av dette arbeidet bør alternative deponiformer vurderes.

Superside

KONSEPTVALGET			
Kvalitetssikrere: Atkins og Oslo Economics		KVU versjon/dato: DNV GL, versjon 1.0 / 2015-01-27	
Prosjektutløsende behov			
1. Behov for å stabilisere ustabilt brukt metallisk brensel.			
2. Behov for å få ny oppbevaringskapasitet før lagrene på Kjeller og i Halden og dagens deponi i Himdalen blir uegnede eller fulle			
3. Behov for å etablere en forsvarlig oppbevaringsløsning for langlivet avfall som ikke belaster kommende generasjoner.			
Samfunns mål			
Forsvarlig oppbevaring av brukt brensel og annet norsk radioaktivt avfall i et kortsiktig og langsiktig perspektiv.			
Effektmål			
Anleggene for oppbevaring av norsk radioaktivt avfall ...			
E1: ... har tilstrekkelig kapasitet til å oppbevare brukt brensel og annet radioaktivt avfall på en forsvarlig måte			
E2: ... gir ikke skadelige strålingsvirkninger på menneskers helse			
E3: ... gir ingen skadelige virkninger på miljøet			
E4: ... oppleves som sikre og trygge så kvaliteten på nærområdene ikke påvirkes negativt av anleggene			
E5: ... og systemene knyttet til anleggene skal være utformet på en måte som sikrer at forurensere betaler, og at ikke utilbørlige byrder legges på fremtidige generasjoner.			
Finansieringsform			
Det er ikke tatt endelig stilling til finansiering i KVU-en. Det aksepterte prinsippet i miljøforvaltningen er at forurensere betaler. Dette bør også gjelde håndtering og oppbevaring av radioaktivt avfall.			
Anbefalinger	KVU	KS1	Henvisning KS1- rapport
Usikkerhets-analyse og samfunns-økonomisk analyse ⁴	Anbefalt alternativ:	Anbefalt alternativ:	Kapittel 9 Vedlegg 3: 2.9 2.9.8
	<u>Ved fortsatt drift av begge reaktorer:</u>	<u>Uavhengig av nedstengningstidspunkt:</u>	
	Referansealternativet	Alt II: Reprosesserer alt ustabilt	
	Netto nytte ⁵ : 0 Totalkostnad ⁶ : 7 450 Investeringskostnad ⁷ : 460	Ved drift til 2100: Netto nytte: -2 310 Totalkostnad: 27 710 Investeringskostnad: 13 720	
	<u>Ved tidlig nedstengning av reaktorene:</u>	Ved drift til 2020: Netto nytte: -5 530 Totalkostnad: 19 340	
	Alt. 4: Reprosessering av alt brukt brensel (hvis reprosessering er akseptabelt,		

⁴ Alle tall i mill. NOK

⁵ All netto nytte i denne tabellen er vist relativt til nullalternativet

⁶ Med totalkostnad menes her i denne tabellen samlet investerings- og driftskostnad for alternativet, ikke neddiskontert

⁷ Med investeringskostnad menes her i denne tabellen forventningsverdi for samlet investeringskostnad for alternativet, ikke neddiskontert

	ellers: Alt 1a: Samlager i Norge på ny lokasjon Netto nytte: Alt 4: 1 000 (alt 4), 0300 (alt 1a) Totalkostnad: 1 080 (alt 4), 7 560 (alt 1a) Investeringskostnad: 770 (alt 4), 670 (alt 1a) <u>Ved fortsatt drift av en reaktor:</u> Alt. 1a: Samlager i Norge på ny lokasjon Netto nytte: 580 Totalkostnad: 7 620 Investeringskostnad: 810	Investeringskostnad: 12 750	
	Endrer ikke-prissatte effekter på rangeringen? Nei	Endrer ikke-prissatte effekter på rangeringen? Ja, på grunn av ikke-prissatte virkninger rangeres Alt. I, II og IV høyere enn referansealternativet, som har høyere netto nåverdi enn øvrige alternativer	Kapittel 9.4
Bør konseptvalget besluttes nå? Proessen for å muliggjøre <i>stabilisering</i> av brukt brensel bør iverksettes raskt, på grunn av den kritiske tilstanden i dagens lagre for metallisk avfall, fare for selvantennning og fordi metallisk brukt brensel må stabiliseres før deponering. Det tar trolig mer enn seks år fra prosessen iverksettes til faktisk reprosessering er mulig. Tidsforløpet gir også mulighet til å vurdere andre løsninger hvis disse dokumenteres som sikre og mer kostnadseffektive. Hvis prosessen skyves ut i tid øker risikoen for uønskede hendelser og kostnadene kan samtidig øke, blant annet som følge av ekstra mellomlagringskostnader. Etter stabilisering må avfallet mellomlagres før deponi er tilgjengelig. Videre må det fattes beslutning om nytt <i>deponi</i> for lav- og mellomaktivt avfall slik at nytt anlegg er klart før deponiet går fullt. Hvis ikke, hvilke realopsjonsverdier foreligger? Det er fortsatt mange år før beslutningen om et <i>deponi</i> for brukt brensel og annet høyaktivt, langlivet avfall må fattes. På det tidspunktet bør alle alternative løsninger være utsjekket, herunder mulighet for internasjonalt samarbeid og nye teknologiske løsninger.			
Særskilte merknader fra kvalitetssikrer om konseptvalget:			
FØRINGER FOR FORPROSJEKTFASEN			
<i>Behov for ytterlige utredninger:</i> Utredninger som bør gjennomføres parallelt med iverksettelse av tiltak: - Tidligfasestudie og forprosjektsstudie for reprosessering. Slike studier bør påbegynnes i 2016 og ha som mål å danne grunnlag for senere reprosessering av deler av eller alt brukt brensel. Hvis det i årene som kommer viser seg at andre behandlingsløsninger blir vist som sikre, teknologisk modne og mer kostnadseffektive bør disse utredes som mulig løsning for det norske avfallet. - Lisensieringsprosess for oppbevaringsbeholdere for transport og mellomlagring. - Avklaring av fremtidig organisering av avfallshåndtering - Avklaring om krav til deponiløsning, herunder muligheter for deponi i borehull			
<i>Organisering:</i> Det anbefales at det opprettes eller utpekes en organisasjon som gis ansvar for å håndtere radioaktivt avfall, som er uavhengig av avfallsprodusent.			
<i>Tidsfasing av prosjektet:</i>			

Kvalitetssikrer ser noen nøkkelprosjekter for å realisere tiltaket. En inndeling i prosjekter kan være som følger:

- Stabilisering av brukt brensel, herunder håndtere den ikke tilfredsstillende lagringsløsningen for historisk brukt brensel ved IFE på Kjeller i dag. Reprosessering vurderes som eneste kommersielt tilgjengelige løsning i dag.
- Planlegging og realisering av et mellomlager
- Planlegging og realisering av et KLDRA 2
- Planlegging og realisering av et dypdeponi

Prioritering av resultatmål:

Innenfor alternativet anbefales følgende prioritering av resultatmål:

1. Kvalitet (sikkerhet)
2. Tid (Gjelder stabilisering av det ustabile avfallet og tiltak for bedre mellomlagring. For deponiløsning prioriteres kostnad før tid, gitt at det ikke kun skjer for å skyve ansvaret over på senere generasjoner)
3. Kostnad (Kostnad prioriteres før tid for deponiløsning)

Vurdering av gjennomføringsstrategi for konseptene:

KVU-en har belyst sammenhengen med dekommisjonering og oppbevaring, og det kommer også frem hvordan ulike strategier og aktiviteter påvirker hverandre. En utfordring i forprosjektfasen vil være å ta beslutninger som konkretiserer måten Norge skal håndtere radioaktivt avfall i tiden fremover. Valgene som tas vil ha stor påvirkning for dimensjonering og kompetanse i prosjektorganisasjon.

I KVU-en knyttes behovene til gjennomføringsstrategien. Kvalitetssikrer mener at dette er fornuftig og dokumenterer konsistens i KVU-en.

KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall



1. Gjennomføring

Kvalitetssikring av KVVU (KS1) «Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall» er gjennomført i tråd med retningslinjene fastsatt i Finansdepartementets ordning for kvalitetssikring av store statlige investeringer. Parallelt med KS1 av denne KVVU-en er det gjennomført KS1 av KVVU «Fremtidig dekommisjonering av nukleære anlegg i Norge».

Begge oppdragene er utført av samme gruppe konsulenter fra Atkins Norge og Oslo Economics med støtte av nukleære eksperter fra Atkins Energy (UK). KS1-oppgavet har vært gjennomført i tidsrommet juni 2015 til april 2016.

Gjennomføringen av kvalitetssikringsoppgavet er dokumentert i vedlegg 1.

1.1. Forutsetninger om videre drift (scenarier)

I de selvstendige analysene gjennomført i KVVU og KS1 er utgangspunktet at det ikke har blitt tatt noen beslutning om nedleggelse av forskningsreaktorene på Kjeller og i Halden. KVVU-en og KS1 har gått inn i problemstillingen med dette utgangspunktet på liknende måter, med noen forenklinger i KS1. KVVU-en opererer med tre scenarioer for videre drift av reaktorene:

- Alfa: Driften ved reaktorene fortsetter til utgangen av analyseperioden (100 år)
- Beta: Reaktorene legges ned i nær fremtid (2018)
- Gamma: En reaktor legges ned i nær fremtid, den andre drives videre ut analyseperioden

I KS1 har scenarioene med umiddelbar nedstengelse og drift til slutten av analyseperioden blitt vurdert i kvalitetssikrers selvstendige samfunnsøkonomiske analyse

1.2. Grensesnitt til KS1 av KVVU Fremtidig dekommisjonering av nukleære anlegg i Norge

KVVU-gruppen har håndtert omfattende avhengigheter mellom de to KVVU-ene. For eksempel vil valg av dekommisjoneringsnivå ha betydning for avfallsmengdene som diskuteres i KVVU Oppbevaring. Valg av oppbevaringsløsning for brukt brensel i KVVU Oppbevaring vil ha betydning for hvilket dekommisjoneringsnivå som bør velges i KVVU Dekommisjonering. Forutsetningene som KVVU Oppbevaring legger til grunn for analysen er i mange tilfeller basert på anbefalinger i KVVU Dekommisjonering. Kvalitetssikringen av KVVU Dekommisjonering opprettholder de samme anbefalingene som KVVU-en, derfor er det ingen grunn til å gjøre andre antagelser for analysene i KS1 enn det som gjøres i KVVU-en.

1.3. Tidligere utredninger

Det foreligger en rekke tidligere utredninger av håndtering av det brukte reaktorbrenselet i. Disse har undersøkt mulighetsrommet for en forsvarlig lagring av brenselet, og danner i stor grad underlag for KVVU-en og denne KS1-rapporten.

På området for lav- og mellomaktivt kortlivet avfall ble det gjennomført utredninger på konseptnivå og etter plan- og bygningsloven, som ledet frem til at det kombinerte lageret og deponiet for radioaktivt avfall (KLDRA) i Himdalen ble ferdigstilt i 1998. Kveseth-utvalget, oppnevnt i 1989, innledet arbeidet med etableringen av lager og deponi for lav- og mellomaktivt avfall.

1.3.1. NOU 2001:30 - Vurdering av strategier for sluttlagring av høyaktivt reaktorbrensel (Berganutvalget)

Berganutvalget ble oppnevnt i 1999, og hadde som mandat å vurdere strategier for sluttlagring av brukt, høyaktivt reaktorbrensel fra forskningsreaktorene i Halden og på Kjeller. Utvalgets vurderinger tok for seg alle viktige faser ved håndtering av avfallet, herunder mellomlager og deponi. Utvalget anbefalte å etablere et nytt sentralt mellomlager i en fjellhall på kort sikt. Mellomlageret ville være en tilfredsstillende løsning i 40 til 50 år. En beslutning om valg av konsept for strategi for deponi ble anbefalt utsatt i påvente av teknologisk utvikling og internasjonalt samarbeid.

1.3.2. Fase 1-utvalget

Fase 1-utvalget ble oppnevnt i 2004 av Nærings- og handelsdepartementet, med oppdrag å kartlegge Norges lagerbehov for høyaktivt avfall, utrede tekniske løsninger og krav til mulige lokaliteter. Utvalget vurderte mellomlager i hvelv eller transportable beholdere i detalj. Det skisserte også steg i den videre prosessen frem til endelig valg av løsning og lokalitet.

1.3.3. Teknisk utvalg

Som oppfølging av Fase 1-utvalgets anbefaling ble Fase 2-utvalget (Strandenutvalget) oppnevnt i 2009, samtidig ble det oppnevnt et teknisk utvalg som skulle bidra med underlag til Fase 2-utvalgets arbeid. Teknisk utvalg var sammensatt blant annet av eksperter ved IFE, og deres mandat var å utrede behandling av ustabilt brukt brensel for videre mellomlagring, og undersøke tekniske krav til mellomlager og deponi for denne typen brensel. Teknisk utvalg anbefalte å sende det ustabile brukte brenselet til opparbeiding (reprosessering) ved et anlegg i utlandet. Sikkerhetsutfordringer ved videre lagring av brenselet, og kostnadene ved å etablere et anlegg for formålet i Norge, var bakgrunnen for denne anbefalingen.

1.3.4. NOU 2011:2 – Mellomlagerløsning for brukt reaktorbrensel og langlivet mellomaktivt avfall (Fase 2-utvalget/Strandenutvalget)

Parallelt med utnevnelsen av Teknisk utvalg fikk Fase 2-utvalget, også kjent som Strandenutvalget, oppdraget med å utrede mulighetene for etablering av et nytt, sentralt, mellomlager eller utvidelse av kapasiteten ved IFEs anlegg, og lokalisering for et eventuelt nytt lager. Hele utvalget stilte seg bak anbefalingen om at det ustabile brenselet burde sendes til opparbeiding i utlandet. Ett utvalgsmedlem tok dissens på anbefalingene om å etablere et nytt mellomlager, og mente at dagens lagre på IFEs områder kan tilpasses videre lagring av det stabile brenselet. De resterende utvalgsmedlemmene mente at et nytt mellomlager burde baseres på transportable beholdere, og lokaliseres til en eksisterende tunnel ved IFEs anlegg i Halden, eller sekundært på ett av seks andre områder utvalget vurderte til å passe for formålet.

1.3.5. Anbefalinger fra tidligere utvalg

De tidligere utredningene har i stor grad hatt sammenfallende anbefalinger for de ulike fasene for lagring av brukt reaktorbrensel. Disse anbefalingene er kort oppsummert:

- Avklaring av finansielt og organisatorisk ansvar knyttet til brukt reaktorbrensel og annet langlivet radioaktivt avfall.
- Stabilisering av det metalliske brenselet med tilgjengelig teknologi, eksempelvis ved reprosessering i utlandet.
- Etablering av et nytt mellomlager, basert på tørrlager i hvelv eller transportable beholdere.
- Igangsettelse av en prosess med mål om å bestemme en deponiløsning for det langlivede avfallet.

2. Situasjonsbeskrivelse – radioaktivt avfall i Norge

Institutt for energiteknikk (IFE) eier og driver to forskningsreaktorer i Norge, der det blant annet forskes på materialteknikk og reaktorbrensel. IFE ble grunnlagt i 1948, og er i dag en selvstendig stiftelse med en årlig omsetning på om lag 1 milliard kroner og 600 ansatte. I tillegg til å drive reaktorene har IFE ansvaret for ivaretagelsen av radioaktivt avfall i Norge.

2.1. Radioaktivitet

NOU 2001:30 gir en kort innføring i hva radioaktivitet er:

«Kjernen i et atom består av nøytroner (nøytrale kjernepartikler) og protoner (positive kjernepartikler). Radioaktivitet oppstår ved at kjernen i et atom er ustabil fordi den inneholder for få eller for mange nøytroner i forhold til protoner. For å gjenvinne stabilitet vil disse "radionuklidene" spontant sende ut stråling i form av alfapartikler (kjernen i heliumatomer), betapartikler (elektroner), gammastråler (elektromagnetisk stråling) eller nøytroner. Resultatet er at ustabile atomkjerne omdanner seg til stabile atomkjerne, noen ganger via flere trinn. Denne omdannelsesprosessen, som fører til en rekke "datterprodukter", kalles radioaktivitet.

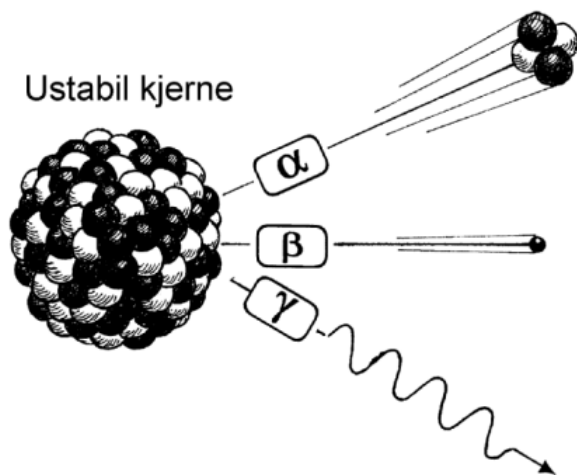
Et viktig begrep for å beskrive denne prosessen er "halveringstid". Halveringstid er den tiden det tar for at halvparten av atomene til en radionuklide er blitt omdannet fra sin opprinnelige form til andre nuklider.

Halveringstiden er en sentral parameter for å si hvor raskt strålingen fra det radioaktive stoffet vil avta. For enhver radionuklide er aktivitet (strålingsnivå) og halveringstid omvendt proporsjonale. Dette vil si at jo mer strålingsintensitet stoffene er, jo kortere halveringstid har de, og jo raskere taper de sin radioaktivitet. Noen radionuklider har halveringstider på flere millioner av år. Disse har lite intens stråling, men er langlivete.

Gammastråling og emisjon av alfa- og betapartikler frigjør energi som kan forårsake at atomer kan ioniseres. Gamma- og betastråling gjør dette ved at de slår ut elektroner fra atomene mens alfastråling, nøytroner og andre tunge partikler slår ut hele kjerner fra atomet, eller slår kjernen i stykker. Ioniserende stråling kan derfor endre molekyler i celler og påvirke det genetiske materialet i levende organismer. Skadeligheten vil blant annet være avhengig av type stråling (f.eks. alfa- eller betapartikler) og mengde energi som frigjøres. Alfapartikler kan bare trenge igjennom noen få centimeter med luft og bare noen mikrometer med vann, og de stoppes av for eksempel et ark med papir. Siden de mister all energien på en veldig kort distanse, er alfapartikkelstråling stort sett ufarlig. Situasjonen er imidlertid mer alvorlig hvis det radioaktive stoffet kommer inn i kroppen. Da kan alfapartikkelstråling avsette store stråledoser i det celleglaget som ligger helt inntil den radioaktive partikkelen, for eksempel i lungene ved innånding av det radioaktive stoffet, eller i fordøyelsessystemet ved svelging. Celler som ligger bare noen få cellediametre fra partikkelen får derimot ingen stråling. Betapartikler har større gjennomtrengningsevne enn alfapartiklene, selv om også de kan stoppes av noen få millimeter med plast eller metall. I likhet med alfapartikler kan de avsette store stråledoser i enkeltceller hvis materialet kommer inn i kroppen.

Gammastråling (elektromagnetisk stråling) gir en helt annen dosefordeling. Denne strålingen har lang rekkevidde og kan avsette energi i alt vev i kroppen selv uten at det radioaktive stoffet er blitt tatt opp. Denne strålingen virker derfor på et mye større antall celler enn alfa- og betastråling. Stråledosene til den enkelte celle kan oftest bli mindre enn ved alfa- og betastråling, men dette kan bety at cellene som overlever bestrålingen kan få skader på sitt genetiske materiale, noe som kan gi opphav til ukontrollert celledeling og kreft. Eksponeringen for gammastråling svekkes med avstanden fra strålekilden, og effekten kan dessuten reduseres ved skjerming med materialer som for eksempel bly, betong eller vann. På grunn av den lange rekkevidden til den elektromagnetiske strålingen (gamma- og røntgenstråling) er det for det meste denne som brukes i kreftbehandling.

Stråling er en del av vårt naturlige miljø, og vi er utsatt for stråling både fra våre omgivelser og innvendig fra stoffer vi har i kroppen. Naturlig radioaktivitet finnes i atmosfæren, luft, vann, jord og vegetasjon, og i antropogene (menneskelagde) produkter vi omgir oss med eller får inn i kroppen gjennom mat eller på annet vis. I Norge vil folk flest motta mye høyere doser fra naturlig bakgrunnsstråling enn det de noen gang vil få fra antropogene kilder»



Figur 2-1 Atomkjerne og stråletyper

KILDE: Henriksen et. al, 1995. Gjengitt i NOU 2001-30 (Berganutvalget).

2.2. Kategorisering av radioaktivt avfall

Radioaktivt materiale som ikke lenger tjener den funksjon det var tiltenkt, regnes som radioaktivt avfall. Radioaktivt avfall må håndteres på en måte som hindrer helse- og miljøskadelige stråling til omgivelser. Det er dette menneskeskapte radioaktive avfallet, og ikke naturlig forekommende radioaktivitet, som er gjenstand for konseptvalgutredningen som kvalitetsikres.

Det radioaktive avfallet kan kategoriseres etter aktivitetsnivå, i kategoriene **høyaktivt (HLW)**, **mellomaktivt (MLW)** og **lavaktivt (LLW)**. Grensene mellom kategoriene er ikke klart definert, men jo mer aktivt avfallet er, jo mer kjøling og beskyttelse er nødvendig. Brukt brensel er regnet som høyaktivt avfall.

Ulike radioaktive nukleider har ulik halveringstid. Nukleider med lang halveringstid omtales som **langlivede**, mens nukleider med kort halveringstid er **kortlivede**. Det er vanlig å regne en halveringstid på 30 år som grensen mellom langlivet og kortlivet. Brukt brensel er regnet som langlivet avfall.

Stabilt avfall kan deponeres uten forutgående behandling, mens **ustabilt avfall må stabiliseres før deponering**.⁸ Hvis kapslingen ikke er intakt på grunn av korrosjon kan selv mellomlagring av det metalliske avfallet være risikofyllt. Det metalliske brukte brenselet er ustabilt og er selvantennelig i kontakt med oksygen. Det aluminiumkapslede oksyd-brenselet er noe mindre ustabilt, men heller ikke mulig å direkte deponere i et dypdeponi.

⁸ Jf. fotnote 1

2.3. Kilder til radioaktivt avfall i Norge

Det norske radioaktive avfallet består av brukt brensel fra reaktordriften på IFE, annet langlivet avfall fra reaktordriften (brenselsdeler som har blitt studert, thorium, uran i ulike former), kontaminert driftsavfall fra IFE og kilder fra andre steder enn IFE, i hovedsak fra helsesektoren, petroleumsindustrien og forsvaret. Det aller meste av kontaminert driftsavfall og kilder fra andre steder enn IFE kan deponeres i KLDRA i Himdalen. I Tabell 2-1 vises en oversikt over de ulike typene radioaktivt avfall som omhandles av denne rapporten.

I tillegg kommer bl.a. avfall som oppbevares i deponiet for petroleumsindustrien i Gulen, malmdeponi (Søve gruver) og noen skjermingsbeholdere som fortsatt oppbevares på norske sykehus.

Tabell 2-1 Oversikt over radioaktive avfall behandlet i denne rapporten*

Avfallskategori	Avfallstype	Nærmere spesifisering
Brukt brensel	Metallisk brukt brensel	9,8 tonn lagret hos IFE på Kjeller og i Halden
	Oksidbrensel med aluminiumskapsling	1,8 tonn lagret hos IFE på Kjeller
	Oksidbrensel med zirkoniumkapsling	5 tonn, lagret hos IFE på Kjeller og i Halden
Annet langlivet avfall	Solidifisert uranløsning («yellow cake»)	1,2 tonn lagret i Radavfallsanlegget på Kjeller
	Overskuddmateriale og rester fra reaktordriften - Anriket, naturlig og utarmet uran - Thoriumoksidbrensel - PIE (snitt av testbrensel) - Ioneutvekslingsmateriale - Tungtvann	Lagret hos IFE på Kjeller og i Halden
	167 tønner med plutoniumsholdig jord (34 gram plutonium totalt) opprinnelig fra Kjeller	Lagret i KLDRA Himdalen
	Driftsavfall fra sykehus lagret på Kjeller - Radiumnåler - Noen større kilder med urankapsling (sykehussskjermer) - Medisinske isotoper	
	Avfall fra en eventuell dekommisjonering av anleggene på Kjeller og i Halden - Uranrenseanlegget - Reaktorene	
Avfall som kan deponeres i KLDRA Himdalen	Driftsavfall fra Halden og Kjeller Driftsavfall fra legemiddelproduksjon, sykehus og forsvar Røykvarslere Annet	

*I tillegg kommer noe radioaktivt avfall fra petroleumssektoren, malm fra Søve gruver og utarmet uran i skjermingsbeholdere som fortsatt er lagret hos brukere. I følge KVVU-en har Strålevernet uttalt en forventning om at størstedelen av skjermingsbeholderne vil bli returnert til produsent og vil ikke ende opp som avfall i Norge.

2.4. Status for lagring av brukt brensel

Det finnes tre typer brukt brensel som er brukt i de norske reaktorene; metallisk brensel, oksidbrensel med aluminiumskapsling og oksidbrensel med zirkoniumkapsling. Brenselet har ulike egenskaper som er avgjørende for hvilke løsninger for lagring og deponering som er aktuelle.

2.4.1. Metallisk brukt brensel

IFE lagrer i dag 9,8 tonn brukt brensel bestående av metallisk uran på Kjeller og i Halden. Det benyttes ikke lenger metallisk brensel i driften av reaktorene, og Norge er et av få land i verden som har denne typen avfall i dag.

Det metalliske brenselet er spesielt fordi det er pyrofort (selvantennelig ved kontakt med luft). Brenselet reagerer med vann slik at det dannes hydrogengass (H_2) og pyrofort uranhydrid (UH_3). Det metalliske brenselet har i tillegg aluminiumskapsling, som korroderer ved kontakt med vann. Dette betyr at brenselet anses som ustabil og må stabiliseres ved en form for behandling før det kan deponeres. Det anses heller ikke som tilstrekkelig trygt å lagre dette brenselet videre i lang tid fremover uten at det gjennomgår en stabilisering, på grunn av faren for selvantennning. Teknisk utvalgs rapport fra 2010 gir en dybdebehandling av problematikken med metallisk brensel og mulige løsninger.

Det har blitt oppdaget at dagens lagre for metallisk brensel (JEEP I stavbrønn) på Kjeller er i dårlig stand. Vann har trengt inn i stavbrønnene, og det er oppdaget korrosjon på brenselsbeholderne. Dersom brenselet kommer i kontakt med vann eller hydrogen kan det utvikles uranhydrater, som frigir hydrogengass og er brannfarlig. Det gjøres for tiden undersøkelser for å avdekke om radioaktivitet kan ha lekket ut av brønnene. Dette gjør det enda mer prekært å behandle dette brenselet så fort som mulig. IFE er nå i gang med å ta opp alt dette brenselet fra dagens lagre og undersøke brenselet. Brenselet må gjennomgå en behandling mot hydratutviklingen for å kunne lagres videre i et kortsiktig perspektiv. På lang sikt må brenselet i tillegg stabiliseres. Per i dag er stabilisering ved repressering (opparbeiding) den eneste kommersielt tilgjengelige metoden for å stabilisere metallisk brukt brensel.

2.4.2. Oksidbrensel med aluminiumskapsling

Reaktoren på Kjeller produserer årlig rundt 45 kg brukt oksidbrensel med aluminiumskapsling. Det er lagret 1,8 tonn av denne brenselstypen på Kjeller.

Oksidbrensel er i utgangspunktet stabilt, ulikt metallisk brensel. Likevel er det en utfordring knyttet til aluminium som kapslingsmateriale i dette brenselet. Aluminium kan korrodere ved kontakt med vann og oksygen og karakteriseres derfor også som ustabil. Det er uproblematisk å lagre dette brenselet videre, med de krav til overvåkning og vedlikehold som et lager innebærer, men brenselet må stabiliseres før det kan deponeres.

Per i dag er repressering den eneste kommersielt tilgjengelige metoden for å stabilisere oksidbrensel med aluminiumskapsling. Det er i tillegg mulig å stabilisere denne typen brensel ved å bytte om kapslingsmaterialet, men dette er ikke en utviklet metode per i dag.

2.4.3. Oksidbrensel med zirkoniumkapsling

Det produseres årlig ca 80 kg brukt oksidbrensel med zirkoniumkapsling fra virksomheten i Haldenreaktoren. Per utgangen av 2015 er det produsert ca 5 tonn av denne brenselstypen. Hoveddelen av brenselet er lagret i Halden, mens 600 kg er lagret på Kjeller.

Oksidbrensel med zirkoniumkapsling er stabilt og kan direkte deponeres uten videre behandling.

2.5. Status for lagring av annet langlivet avfall

I tillegg til brukt brensel finnes det ulike typer avfall som ikke kan deponeres i dagens KLDRA i Himdalen, fordi det er langlivet eller høyaktivt. Disse avfallstypene er oppsummert i Tabell 2-1.

I Radavfallsanlegget på Kjeller lagres 1,2 tonn med solidifisert uranløsning, såkalt «yellow cake». Dette er lavaktivt, men langlivet, og kan derfor ikke deponeres i KLDRA Himdalen.

IFE oppbevarer i tillegg ulike typer rester og overskuddsmateriale fra reaktorvirksomheten. Det finnes små mengder av ubrukt brensel, som inkluderer anriket, naturlig og utarmet uran samt noen staver med thoriumbrensel som har blitt bestrålt i Haldenreaktoren. I tillegg har IFE andre typer rester og overskuddsmateriale fra reaktorvirksomheten (snitt av testbrensel, ioneutvekslingsmateriale og tungtvann).

I KLDRA Himdalen lagres i dag 167 tønner med plutoniumsholdig jord, som ble gravd opp fra IFEs områder på Kjeller på 1990-tallet. Disse tønnene inneholder totalt kun 34 gram med plutonium. Dagens konsesjon for KLDRA i Himdalen tillater ikke deponering av disse tønnene, men det er teknisk mulig å deponere dem der fordi innholdet av plutoniumet er såpass lavt. Det er likevel usikkert om disse tønnene vil kunne deponeres i Himdalen.

I Radavfallsanlegget på Kjeller lagres i dag ulike typer driftsavfall fra sykehus. Dette inkluderer åtte tønner med radiumnåler og utarmet metallisk uran i strålingsskjermer fra bruk ved stråleterapi ved sykehus. I metlab II på Kjeller lagres noen medisinske isotoper. Dette er langlivet avfall og kan derfor ikke deponeres i KLDRA Himdalen.

I tillegg til dagens avfall vil det kunne komme noe langlivet og også høyaktivt avfall fra dekommisjoneringen av reaktorene og uranrenseanlegget på IFE. Det meste av dekommisjoneringsavfallet vil kunne deponeres i KLDRA Himdalen, unntatt disse enkeltdelene.

2.6. Status for lagring og deponering av lav- og mellomaktivt avfall

2.6.1. Radavfallsanlegget

Annet radioaktivt avfall som ikke er langlivet lagres i dag ved brukskilden eller på radavfallsanlegget inne på IFEs lokasjon på Kjeller. Dette inkluderer driftsavfall fra IFEs reaktordrift, sykehus, industri og forsvar. Avfallet leveres inn til radavfallsanlegget og håndteres her før det sendes til KLDRA Himdalen for endelig deponering. Årlig sendes om lag 180 tønner avfall fra radavfallsanlegget til deponering i KLDRA. Om lag 80 av disse tønnene stammer fra IFEs virksomhet, det resterende fra andre kilder.

1.1.1. KLDRA – Himdalen

Kombinert lager og deponi for radioaktivt avfall (KLDRA) ligger i Himdalen i Aurskog-Høland kommune. Stortinget vedtok bygging 1994 og i 1998 sto anlegget klart. Det kostet 72 millioner 1998-kroner å bygge KLDRA. Anlegget består er sprengt ut i fjell med 50 meter overdekning, og består av fire fjellhaller på rekke med en tilførselstunnel. I hver fjellhall er det bygget sarkofager hvor ulike typer avfallsbeholdere deponeres ved å støpes inn i betong.

Anlegget i Himdalen har en kapasitet på 10 000 tønneekvivalenter, med plass til 2 500 tønner i hver fjellhall. I dag benyttes en av disse hallene til lager for avfall som det i dag ikke er mulig å deponere i Himdalen grunnet konsesjonen. Dette består primært av 166 tønner med plutoniumholdig jord.

Ved utgangen av 2015 er det deponert knapt 6 000 tønneekvivalenter i anlegget i Himdalen. Etter KVVU-ens beregninger ventes KLDRA Himdalen å være fylt opp i 2037 dersom reaktordriften fortsetter, gitt dagens strøm av avfall. KVVU-gruppen viser at usikkerhet rundt avfallsvolumer gjør at usikkerhetsspennet for året kapasiteten i KLDRA Himdalen nås er mellom ca. 2035 og 2040. Dersom avfallsmengdene per år øker

betraktelig vil KLDRA Himdalen nå kapasitetsgrensen tidligere enn lagt til grunn, og det er ikke urealistisk å se for seg at dette kan skje.

Ved en dekommisjonering av anleggene på Kjeller og i Halden, ventes det en tilførsel av avfall til KLDRA på drøyt 3 500 tønneekvivalenter. Deler av dekommisjoneringsavfallet kan trolig deponeres i himlingene over sarkofagene, men dekommisjoneringsavfallet vil i alle tilfeller ta opp en betydelig del av restkapasiteten i anlegget. Dersom en slik dekommisjonering skjer før et nytt anlegg står klart, vil KLDRA fylles opp i sammenheng med dekommisjoneringen og anslagsvis i 2025.

KLDRA fikk fornyet konsesjon i 2012, og denne varer i minimum fire år, og maksimalt frem til 2028.

Figur 2-2 KLDRA Himdalen



Kilde: IFE

3. Behovsanalyse

3.1. KVV-en behovsanalyse

KVV-en har identifisert følgende behov:

Samfunnsbehov	SB: Forsvarlig oppbevaring av radioaktivt avfall i et langsiktig perspektiv
Primærbehov	B0: Redusere mengde radioaktivt avfall så mye som mulig B1: Tilstrekkelig kapasitet i rett tid for forsvarlig oppbevaring av radioaktivt avfall B2: Risikonivået for skadelige virkninger av stråling på menneskers helse er innenfor akseptable grenser B3: Risikonivået for skadelige virkninger på miljøet er innenfor skadelige virkninger B4: Anleggene oppleves som trygge og sikre B5: Anleggene og transport av radioaktivt materiale er forsvarlig sikret mot sabotasje, terror og tyveri
Behov knyttet til utforming og gjennomføring av tiltaket, fra normativ metode og interessentanalyse	B6: Effektiv bruk av anlegg og arealer B7: Klarhet i roller, ansvar og organisering B8: Klarhet omkring finansiering B9: Tilgang til riktig kompetanse og informasjon B10: Etablere avtaler for behandling/lagring/deponering av brukt brensel B11: Fleksibel løsning som ikke låser handlingsrommet i fremtiden B12: Anleggene og radioaktivt avfall som oppbevares skal være tilgjengelig for inspeksjon B13: Ivareta kvalitet på nærområder til anleggene B14: Verdiskapning som følge av etablert løsning B15: Sosiale behov – arbeidsplasser og forutsigbarhet omkring fremtidig situasjon B16: Teknologisk kompetanseheving

Behovsanalysen er gjennomført med tre ulike metoder der behovene identifiseres fra ulike perspektiver. Disse er:

- Normativ metode der en identifiserer behov basert på overordnede politiske mål, lover og forskrifter. KVV-en tar her opp behov som er i tråd med nasjonale og internasjonale normer, samt behov som er nedfelt i relevante lover.
- Etterspørselsbasert metode der det tas utgangspunkt i gapet mellom dagens situasjon og en etterspurt situasjon. Der det finnes betalingsvillighet for en tjeneste eller produkt kan det sies å eksistere et behov. Betalingsvilligheten benyttes gjerne i beregninger av et tiltaks nytte, men reflekterer ikke nødvendigvis denne fullt ut.
- Interessegruppebasert metode der interessentenes behov kartlegges. Det er i denne sammenheng gjort en interessentanalyse der interessentene er kategorisert i fire hovedgrupper i tråd med International Atomic Energy Agencys (IAEA) prinsipper.

Normative behov

Den normative metoden tar utgangspunkt i politisk vedtatte målsetninger, gjeldende lover og internasjonale konvensjoner. Den normative behovskartleggingen baserer seg i stor grad på internasjonale normer og IAEAs anbefalinger.

Et viktig prinsipp på området er at forurensere betaler. Dette prinsippet er ikke ivarettatt i Norge i dag, siden avfallet ikke kan spores tilbake til opprinnelsesstedet, og produsent av avfallet ikke betaler et gebyr som dekker kostnadene for fremtidig behandling og lagring av avfall. Det gis ingen insentiver for å redusere mengden avfall som produseres.

Behovene som er kommet frem ved bruk av normativ metode er listet under, disse er alle avledet av IAEAs prinsipper⁹, samt av nasjonale lover som gjelder på området.

Tabell 3-1: Behov utledet fra internasjonale normer og nasjonale lover

Behov fremkommet gjennom normativ metode	Utledet fra
B2 Risikonivået for skadelige virkninger av stråling på menneskers helse er innenfor akseptable grenser	Arbeidsmiljøloven, arbeidsplassforskriften, Strålevernloven, internkontrollforskriften, Forurensningsloven, avfallsforskriften IAEAs prinsipp 1 om beskyttelse av menneskers helse IAEAs prinsipp 3 om beskyttelse av menneskers helse over landegrensene IAEAs prinsipp 4 og 5 om beskyttelse av fremtidige generasjoners helse.
B3 Risikonivået for skadelige virkninger på miljøet er innenfor akseptable grenser	Stålevernloven, strålevernforskriften, Forurensningsloven, forskrift om radioaktiv forurensing og avfall, avfallsforskriften, forurensningsforskriften IAEAs prinsipp 2 om beskyttelse av miljøet IAEAs prinsipp 3 om beskyttelse av miljøet ut over landegrensene IAEAs prinsipp 4 og 5 om kommende generasjoner i et miljøperspektiv
B5 Anleggene og transport av radioaktivt materiale er forsvarlig sikret mot sabotasje, terror og tyveri.	Atomenergiloven, forskrift om fysisk beskyttelse av nukleært materiale og nukleære anlegg, forskrift om besittelse, omsetning og transport av nukleært materiale og flerbruksvarer, Brann- og eksplosjonsvernloven, IAEAs prinsipp 9 om anleggenes sikkerhet
B6 Effektiv bruk av anlegg og arealer	Plan- og bygningsloven, Brann- og eksplosjonsvernloven, IAEAs prinsipp 8 om sammenheng mellom produksjon og håndtering av radioaktivt avfall IAEAs prinsipp 9 om anleggenes sikkerhet
B7 Klarhet i roller, eierskap, ansvar og organisering i prosessen med oppbevaring av radioaktivt avfall	Arbeidsmiljøloven, internkontrollforskriften, arbeidsplassforskriften, IAEAs prinsipp 2 om nasjonalt rammeverk av lover
B8 Klarhet omkring finansiering	IAEAs prinsipp om forurensere betaler IAEAs prinsipp 2 om nasjonalt rammeverk av lover
B11 Fleksibel løsning som ikke låser handlingsrommet i fremtiden.	IAEAs prinsipp 7 om ikke å legge byrder på fremtidige generasjoner

Kilde: KVVU «Oppbevaring norsk radioaktivt avfall»

Etterspørselsbaserte behov

KVVU-en har i sin situasjonsbeskrivelse i kapittel 2 dekket etterspørselsbaserte behov for oppbevaring av radioaktivt avfall. I Norge er det i dag lagret i overkant av 16 tonn brukt brensel fra IFEs forskningsreaktorer

⁹ IAEAs Safety Standards, Safety Series no. 111-S-1 «Establishing a national System for Radioactive Waste Management»

på Kjeller og i Halden. I tillegg lagres 4 tonn annet langlivet og mellomaktivt radioaktivt avfall på Kjeller. IFE estimerer at lagringskapasiteten vil være nådd i 2024 i Halden, og i 2032 på Kjeller ved fortsatt reaktordrift. 3/4 av det brukte brenselet er ustabil, og det finnes ikke teknologi for å deponere dette avfallet uten at det først stabiliseres. Noe av brenselet er skadet og har dårlig lagringsbestandighet.

Kortlivet, lavaktivt og mellomaktivt avfall fra nukleær virksomhet, sykehus, forsvaret m.m. lagres i det kombinerte lager- og deponianlegget i Himdalen. Her vil også avfall fra en eventuell dekommisjonering lagres. Himdalen antas å være fullt i 2037 ved fortsatt reaktordrift, og i 2025 dersom atomreaktorene dekommisjoneres i løpet av perioden.

Det er utfordringer knyttet til tilstrekkelig lagringskapasitet hvis IFEs forskningsreaktorer dekommisjoneres tidlig, med umiddelbar friklassing. Prosessen med dekommisjonering, gitt en start i 2018, vil gi en jevn strøm av avfall til Himdalen i perioden 2023-2026. Tidspunktet for dekommisjonering må derfor ses i sammenheng med når utvidet lagerkapasitet kan stå klar, eller alternativt at det opprettes provisoriske lagre.

Det er ikke beskrevet hvilke behov som konkret er resultat av etterspørselsbasert metode og situasjonsbeskrivelsen, men det gir overordnet støtte for samfunnsbehovet, samt støtte for behov B1 og B7.

Interessebaserte behov

De interessebaserte behovene er fremkommet gjennom en interessentanalyse samt studie av interessentanalyser gjort av tidligere utredningsarbeid (Stranden-utvalget). Interessentene er identifisert basert på tidligere utredninger og høringsrunder og holdt opp mot IAEAs oversikt over typiske interessenter. Listen over interessenter er kvalitetssikret av oppdragsgiveren (NFD). Karlegging av de interessentbaserte behov ble gjennomført i følgende steg:

- Gjennomgang av høringsuttalelser til relevante utredninger
- Møte med inviterte interessenter
- Presentasjon av KVV-oppgaget for deltakere på interessentmøte
- Presentasjon og innspill til interessentmøtet fra sentrale interessenter
- Invitasjon til alle om å sende inn skriftlige innspill
- Rettede henvendelser til, og møter med, sentrale interessenter
- Invitasjon til skriftlige innspill sendt via NFD til nytt utvalg av interessenter
- Begrenset høringsrunde til berørte kommuner ved IFEs anlegg i Halden og på Kjeller

Det er overlapp mellom flere av de normative behovene og de interessebaserte behovene. Behov som bl.a. har fremkommet i interessentanalysen er gjengitt i tabellen under.

Tabell 3-2: Behov utledet bl.a. fra interessentanalysen

Behov fremkommet gjennom interessentanalysen	Kilde til behovet
B0 Redusere mengde radioaktivt avfall så mye som mulig	Finansierende parter, myndighetene, lokalsamfunn og storsamfunnet
B1 Tilstrekkelig kapasitet i rett tid for forsvarlig oppbevaring av radioaktivt avfall	Ikke oppgitt, men antatt samme som B0.
B2 Risikonivået for skadelige virkninger av stråling på menneskers helse er innenfor akseptable grenser	Relevant for alle interessegrupper
B3 Risikonivået for skadelige virkninger på miljøet er innenfor akseptable grenser	Relevant for alle interessegrupper
B4 Anleggene oppleves som trygge og sikre	Lokalsamfunnet og storsamfunnet, relevant for alle grupper

Behov fremkommet gjennom interessentanalysen	Kilde til behovet
B5 Anleggene og transport av radioaktivt materiale er forsvarlig sikret mot sabotasje, terror og tyveri.	Tilsynsmyndigheter, eiere av anleggene og ledelse og ansatte ved anlegget.
B6 Effektiv bruk av anlegg og arealer	Eier av anleggene, ledelse, tilsynsmyndigheter, Nødetater, sikkerhetsmyndigheter, samarbeidende og berørte næringer, lokal og storsamfunn (knyttet til frigjøring av arealer)
B7 Klarhet i roller, eierskap, ansvar og organisering i prosessen med oppbevaring av radioaktivt avfall	IFE, Strålevernet og NFD
B8 Klarhet omkring finansiering	IFE og Staten v/NFD
B9 Tilgang til riktig kompetanse og informasjon	IFE og Strålevernet
B10 Etablerte avtaler for behandling/lagring/deponering av brukt brensel	Vertskommuner og eventuelt andre land
B11 Fleksibel løsning som ikke låser handlingsrommet i fremtiden.	Eiere og ledelse, ansvarlige myndigheter
B12 Anleggene og radioaktivt avfall som oppbevares skal være tilgjengelig for inspeksjon	Strålevernet og IAEA
B13 Ivareta kvalitet på nærområder til anleggene	Myndigheter, lokalsamfunn, lokalt næringsliv, NGO-er og fremtidige generasjoner
B14 Verdiskapning som følge av etablert løsning	Vertskommuner og lokalt næringsliv
B15 Sosiale behov – arbeidsplasser og forutsigbarhet omkring fremtidig situasjon	Ansatte hos IFE, Strålevernet, ansatte i et eventuelt opprettet avfallsselskap
B16 Teknologisk kompetanseheving	Staten og institusjoner som vil få et ansvar knyttet til håndtering av avfallet

Prosjektutløsende behov

I KVV-en er det prosjektutløsende behovet omtalt som et samfunnsbehov. Dette behovet henter begrunnelse fra to forhold: Det ene er at foreliggende rapporter dokumenterer at lagrede brenselelementer delvis har utilfredsstillende tilstand, og at resten av det ustabile brenselet ikke er tilstrekkelig kartlagt. Det andre er at kapasitetsgrensen i eksisterende lagre for brukt brensel vil nås i løpet av en tidsperiode som er meget kort sammenliknet med tiden det vil ta å opprette ny kapasitet. KVV-en definerer med bakgrunn i dette samfunnsbehovet og det prosjektutløsende behov som:

SB: Forsvarlig oppbevaring av radioaktivt avfall i et langsiktig perspektiv

Med forsvarlig menes at sikkerhet for helse og miljø er ivarettatt på et samfunnsmessig akseptabelt nivå, samtidig som kostnadene for valgt løsning står i forhold til samfunnsøkonomisk nytte. *Langsiktig perspektiv* må ses i sammenheng med at tiden det tar før radioaktivt avfall ikke lenger utgjør noen risiko for mennesker og miljø kan være millioner av år. KVV-en presiserer at samfunnsbehovet er forankret hos oppdragsgiver Nærings- og fiskeridepartementet.

3.2. Kvalitetssikrers vurdering av behovsanalysen

Som del av konseptvalgutredningen er det gjennomført et betydelig arbeid med å kartlegge samfunnets behov. Overordnet er vurderingen at dette gir en god beskrivelse av behovet for tiltak. De senere måneders kartlegging av tilstanden for det historiske, metalliske brenselet på Kjeller har avdekket korrosjon. Dette underbygger at det er behov for å iverksette tiltak raskt.

Kommentarer til de normative behov: KVVU-en tar opp behov som er nedfelt i relevante lover og i internasjonale normer. Kvalitetssikrer mener at IAEAs prinsipp 4 og 5 om å ikke legge byrde til fremtidige generasjoner medfører et behov for at radioaktivt avfall lagres på en måte som ikke krever vesentlige nyinvesteringer på et senere tidspunkt, for avfall som allerede er lagret. Dersom dette ikke oppfylles, kan eventuelt finansiering til slike nyinvesteringer, i den grad de kan forutsees, sikres i nåtid gjennom fondsoppbygging.

Kvalitetssikrer mener at prinsippet om at forurensere betaler burde vektlegges sterkere enn det som gjøres i KVVU-en. Dette, sett i lys av dagens situasjon for oppbevaring av radioaktivt avfall leder til et behov for klarere ansvarsfordeling for alt radioaktivt avfall, inkludert det brukte brenselet.

Kommentarer til de etterspørselsbaserte behov: Situasjonsbeskrivelsen illustrerer etterspørselsbaserte behov for oppbevaring av radioaktivt avfall. Uavhengig av hvilken beslutning som blir tatt om dekommisjonering, er det nødvendig å finne en løsning for oppbevaring av radioaktivt avfall når kapasiteten i eksisterende lagre nås. Dersom reaktorene på Kjeller og i Halden dekommisjoneres og områdene friklases må det finnes en annen løsning for det brukte brenselet som lagres der.

Situasjonsbeskrivelsen beskriver tydelig at behandlingen av radioaktivt avfall i Norge har vært mangelfull, blant annet med utilfredsstillende lagringsforhold for deler av det brukte reaktorbrenselet. Det finnes ingen komplett, enkelt tilgjengelig oversikt over radioaktivt materiale som må håndteres ved en eventuell dekommisjonering av anleggene i Halden og på Kjeller, og annet radioaktivt avfall som er lagret er ikke merket med opprinnelsessted. Som KVVU-en påpeker er det et stort behov for klarhet i roller og ansvar for oppbevaring av radioaktivt avfall, dette gjelder både avfall fra en eventuell dekommisjonering av forskningsreaktorene og deponeringspliktig radioaktivt avfall fra andre kilder.

Kommentarer til de interessebaserte behov: KVVU-en har gjort et omfattende arbeid med å kartlegge interessenter og aktører og identifisere deres behov. Vår oppfatning at de interessebaserte behovene er kartlagt på en god og dekkende måte.

Kommentarer til de prosjektutløsende behov: Kvalitetssikrer mener at det prosjektutløsende samfunnsbehovet er beskrivende for de generelle behov knyttet til oppbevaring av radioaktivt avfall.

Situasjonsbeskrivelsen viser tydelig behovet for en snarlig løsning for avfallsoppbevaring, mens samfunnsbehovet primært omtaler behovet for en langsiktig løsning. I beskrivelsen av samfunnsbehovet (side 22 i KVVU-en) sies det at «fasiliteter for oppbevaring av avfall bør være enkelt tilgjengelig [...] i rett tid for å sikre uavbrutt drift av reaktorene» i tiden de har konsesjon til å drive. Dette synes å være en mer presis beskrivelse av behovet som stammer fra de to nevnte forholdene. Videre sies det at «Behovet har fremkommet gjennom normativ metode og er ytterligere styrket gjennom interessentanalysen». Sammen med situasjonsbeskrivelsen gir dette to ulike forklaringer på hvor samfunnsbehovet stammer fra. Det er positivt at alle delene av behovsanalysen understøtter samfunnsbehovet, selv om bakgrunnen for behovet beskrives noe uklart. Dersom det kortsiktige perspektivet hadde kommet klarere frem i samfunnsbehovet er det kvalitetssikrers mening at KVVU-en i større grad ville få som formål å utrede muligheter for ny lagerkapasitet uavhengig av når en dekommisjoneringsbeslutning tas. Det er uheldig dersom spørsmålet om oppbevaringskapasitet utsettes i påvente av en beslutning om dekommisjonering, siden dekommisjonering i seg selv fordrer ekstra lagringskapasitet.

Vi savner med bakgrunn i dette en tydeliggjøring av de prosjektutløsende behov i KVVU-en. Vi er også av den oppfatning at det prosjektutløsende behovet, at lagringssituasjonen for brukt brensel er utilfredsstillende, burde komme klarere frem for å gi motivasjon til den etterfølgende alternativanalysen. Samfunnsbehovet legger ikke tilstrekkelig vekt på nødvendigheten av å gjennomføre tiltak snarlig. Vi mener også at hensynet til fremtidige generasjoner kunne ha vært inkludert i det prosjektutløsende behovet.

Med bakgrunn i våre kommentarer over foreslår vi følgende prosjektutløsende behov:

1. Behov for å stabilisere ustabilt brukt metallisk brensel.

-
2. *Behov for å få ny oppbevaringskapasitet før lagrene på Kjeller og i Halden og dagens deponi i Himdalen blir uegnede eller fulle*
 3. *Behov for å etablere en forsvarlig oppbevaringsløsning for langlivet avfall som ikke belaster kommende generasjoner.*

4. Strategidokument – mål

4.1. KVVU-ens strategidokument – mål

Samfunnsmålet er i KVVU-en formulert som:

Forsvarlig oppbevaring av brukt brensel og annet norsk radioaktivt avfall i et langsiktig perspektiv

Med *forsvarlig* menes en løsning som oppfyller alle nødvendige krav som må stilles for å unngå skader på mennesker eller miljø, og som minimum oppfyller krav som følger av gjeldende lover, forskrifter og internasjonale avtaler og konvensjoner som er gjort gjeldende og som Norge har ratifisert. Blant slike mulige løsninger balanseres det mellom valgt sikkerhetsnivå for løsningen og samfunnsøkonomi.

KVVU-en formulerer videre fire effektmål slik:

Anleggene for oppbevaring av norsk radioaktivt avfall ...

E1: ... har tilstrekkelig kapasitet til å oppbevare brukt brensel og annet radioaktivt avfall på en forsvarlig måte

E2: ... gir ikke skadelige strålingsvirkninger på menneskers helse

E3: ... gir ingen skadelige virkninger på miljøet

E4: ... oppleves som sikre og trygge så kvaliteten på nærområdene ikke påvirkes negativt av anleggene

4.2. Kvalitetssikrers vurdering av målene

Rammeavtalen stiller krav til at strategidokumentet skal kontrolleres for å sikre indre konsistens og konsistens med behovsanalysen. Det skal gis en vurdering av hvorvidt målene er presist nok angitt til å sikre operasjonalitet og hvorvidt målene anses å være prosjektspesifikke i den forstand at de beskriver relevante egenskaper ved slutttilstanden etter gjennomføringen av tiltaket. Disse krav er i stor grad oppfylt. Vi har imidlertid enkelte kommentarer som gis under.

Samfunnsmålet: Kvalitetssikrer vurderer i hovedsak samfunnsmålet som godt. Vi savner imidlertid tydeliggjøring av behov for tiltak på kort sikt, gitt det metalliske brenselet sin tilstand. Vi foreslår derfor følgende justering av samfunnsmålet:

*Forsvarlig oppbevaring av brukt brensel og annet radioaktivt avfall i et **kortsiktig og** langsiktig perspektiv*

Effektmål: Effektmålene vurderes i all hovedsak som presise nok, operasjonelle og konsistente med behovsanalysen. Det foreligger ikke indre motsetninger mellom de ulike målene og helheten vurderes som realistisk oppnåelig og etterprøvnbar. Vi savner et effektmål som ivaretar behovet for at forurensere skal betale og det ikke skal legges utilbørlige byrder på fremtidige generasjoner. Vi foreslår derfor at KVVU-ens fire effektmål suppleres med et femte effektmål. Vårt forslag er følgende:

*E5: Anleggene for oppbevaring av norsk radioaktivt avfall **og systemene knyttet til anleggene skal være utformet på en måte som sikrer at forurensere betaler, og at ikke utilbørlige byrder legges på fremtidige generasjoner.***

5. Overordnede krav

5.1. KVVU-ens beskrivelse av krav

I KVVU-en er det identifisert og beskrevet fire krav. Disse er:

K1: Risikonivåer for skadelige virkninger på menneskers helse skal være innenfor akseptable grenser.

K2: Løsningen skal gi akseptabel sikkerhet mot tyveri eller uønsket inntrenging.

K3: Risikonivåer for skadelige virkninger på miljøet skal være innenfor akseptable grenser.

K4: Anleggene bør oppleves som trygge og sikre.

K1-3 er absolutte krav, mens K4 er bør-krav. Begrepet «akseptable grenser» er definert som dagens lovverk.

5.2. Kvalitetssikrers vurdering av kravene

Kravene har til hensikt å sammenfatte betingelsene som skal være tilfredsstillende når tiltaket er gjennomført. Kvalitetssikringen av kravene skal sikre indre konsistens og konsistens mot målene og behov. Kravenes relevans og innbyrdes prioritet skal videre vurderes. En skiller gjerne mellom to ulike typer krav; krav som utledes av samfunns- og effektmålene, og krav som utledes av ikke-prosjektspesifikke samfunns mål. I praksis vil ikke-prosjektspesifikke samfunns mål fremstå som rammebetingelser for tiltaket. Disse målene behandles derfor her under krav.

Kravene vurderes i all hovedsak som gode, relevante og operasjonelle. Kravene er konsistente med målene i strategikapittelet. Vi anser kravene for relevante, men vi mener de har mangler. Dette kommenterer vi under.

Om dimensjonering og når oppbevaringskapasiteten skal være på plass: Kvalitetssikrer savner et absolutt krav utledet fra samfunns målet om en forsvarlig oppbevaringsløsning for brukt brensel og annet radioaktivt avfall i Norge, med et krav til kapasiteten denne oppbevaringsløsningen skal være dimensjonert for.

I kravet burde det også fremkomme et tidspunkt for når en ny oppbevaringsløsning må være på plass, særlig tatt i betraktning at dagens oppbevaringsløsning ikke vurderes som forsvarlig på lang sikt. Kvalitetssikrer vurderer det slik at en ny løsning for oppbevaring av brukt brensel i Norge bør bli klar så fort som mulig og senest innen lagrene går fullt, som er vurdert å være innen 2020 i Halden og 2029 på Kjeller. Tilsvarende må en løsning for annet radioaktivt avfall være på plass før lageret/deponiet i Himdalen går fullt.

Det er flere grunner til at man burde finne en oppbevaringsløsning så fort som mulig. Tidligere utvalg har foreslått repressering av brukt brensel i Sellafield. Sellafield tilbyr ikke lenger repressering i det kommersielle markedet. Det er også noe usikkerhet knyttet til hvor lenge repressering fra anlegget i La Hague, Frankrike vil tilbys, selv om det for tiden planlegges en ny linje for behandling av reaktoravfall fra forskningsreaktorer. I tillegg vil kompetansen hos IFEs ansatte være en viktig ressurs under behandlingen av det brukte brenselet og annet avfall fra IFE, og denne kompetansen vil gradvis kunne forsvinne i nær fremtid (gitt en nedstenging av reaktorene).

Akseptable grenser: KVVU-en definerer begrepet *akseptable grenser* knyttet til dagens lovverk og reguleringer. Kvalitetssikrer mener dette er en for snever definisjon og mener at begrepet må relateres til det til enhver tid gjeldende lovverk.

Forurensar betaler: Prinsippet om at forurensar betaler er et ikke-prosjektspesifikt krav som kvalitetssikrer mener burde vært inkludert som et eget krav. Prinsippet om at forurensar betaler skal sikre at problemene

med avfallshåndtering ikke sendes videre til fremtidige generasjoner, men at forurenseren rydder opp etter seg innen et begrenset tidsrom. Et slikt krav vil kunne tolkes som at fremtidige generasjoner ikke skal belastes med kostnader for å håndtere avfallet og dermed til at løsninger som inkluderer deponi er å foretrekke fremfor lagerløsninger som krever drift, vedlikehold og overvåkning i lang tid fremover.

Aksept hos befolkningen: En løsning for oppbevaring av radioaktivt avfall vil både for en lager- og deponiløsning avstedkomme en diskusjon om lokalisering av anleggene. Vi er innforstått med at KVVU-ens mandat ikke inkluderer lokalisering av anlegg, men mener at det må stilles som krav til den endelige løsningen at lokaliseringen har aksept i befolkningen. Det må også forventes at det er ulike synspunkter i befolkningen på hvilke metoder som skal velges for stabilisering av ustabilt brukt brensel. Et krav som ivaretar behovet for aksept i befolkningen mener vi bør beskrives.

Bruk av kjente metoder og teknologi: Norges nukleære virksomhet er liten og avfallsvolumene er små sammenlignet med andre land. Betydningen av nukleær virksomhet er også begrenset for Norge. Vi vurderer det derfor som lite hensiktsmessig at Norge skal gå i bresjen for å ta i bruk nye konsepter og teknologi. Som en liten atomnasjon burde Norge i hovedsak heller basere seg på kjente løsninger og utprøvd teknologi. Vi foreslår å inkludere et bør-krav om dette. Et slikt krav bør ikke nødvendigvis være absolutt, fordi Norges spesielle situasjon med svært små mengder utfordrende radioaktivt avfall kan innebære at det i noen tilfeller vil være hensiktsmessig å se på nye konsepter. Bruk av kjente metoder og teknologi vil likevel i de fleste tilfeller kunne gi en raskere gjennomføring enn hvis en ny løsning først skal utvikles og dokumenteres som sikker

Tilfredsstiller nasjonalt regelverk og internasjonale avtaler: Kvalitetssikrer fremholder at løsningene som velges i størst mulig grad bør tilfredsstille nasjonalt regelverk og internasjonale avtaler.

Krav knyttet til gjennomføringen: Kvalitetssikrer registrerer at det ikke er nevnt krav til gjennomføring av tiltaket, kun til sluttstanden. Det kunne det vært hensiktsmessig å inkludere et krav om at risiko knyttet til menneskers helse, sikkerhet mot tyveri og uønsket inntrenging og skadelige utslipp til miljøet skal være innenfor gitte grenser også under gjennomføringen. Vi velger imidlertid å forstå det slik at K1-3 inkluderer også dette perspektivet.

Forslag til krav: Våre kommentarer over adresserer noen mangler i de kravene som er beskrevet i KVVU-en. Vi har derfor foreslått en supplerende av kravsettet. Dette er gjort i tabellen under (fet skrift). Her er også KVVU-ens krav listet for helhetens skyld.

Absolutte krav (skal-krav)		
K1:	<i>Risikonivåer for skadelige virkninger på menneskers helse skal være innenfor akseptable grenser</i>	
K2:	<i>Løsningen skal gi akseptabel sikkerhet mot tyveri eller uønsket inntrenging</i>	
K3:	<i>Risikonivåer for skadelige virkninger på miljøet skal være innenfor akseptable grenser</i>	
K5:	<i>Tilstrekkelig kapasitet for oppbevaring av radioaktivt avfall til enhver tid</i>	
K6:	<i>Forurensere skal betale for avfallshåndteringen, så kommende generasjoner ikke belastes</i>	
Krav (bør)		
K4:	<i>Anleggene bør oppleves som trygge og sikre, og det bør være aksept i befolkningen for valgte løsninger.</i>	
K7:	<i>Konseptene bør anvende utprøvd teknologi og metoder</i>	
K8:	<i>Konseptene bør være i henhold til nasjonalt regelverk og internasjonale avtaler</i>	

6. Mulighetsstudie

Mulighetsstudien skal identifisere alle mulige løsninger som kan bidra til oppfyllelse av målet med tiltaket. Det er viktig at mulighetsstudien favner vidt, slik at alle slike muligheter defineres, og man ikke låser seg til tidligere løsninger. Når mulighetsrommet er identifisert, vurderes de ulike variantene opp mot mål og krav. Relevante muligheter videreføres til alternativanalysen.

6.1. Mulighetsrommet for oppbevaring av radioaktivt avfall

Radioaktivt avfall kan behandles på en rekke ulike måter. Mellomlagring kan være nødvendig i en midlertidig periode, enten i påvente av deponi, løpende avfallsproduksjon, nødvendig nedkjøling av brenselet før deponering eller at kortlivet avfall stråler fra seg slik at det kan utelates fra myndighetenes kontroll (IAEA Safety Guide No WS-G-6.1). Et mellomlager krever kontinuerlig drift, overvåkning og vedlikehold, mens et deponi ikke krever noen tiltak etter at det er forseglet. For langlivet avfall er det derfor kun deponi som gir tilstrekkelig sikkerhet i evig fremtid uten å avhenge av menneskelig innsats.

Det finnes ulike mulige løsninger for deponering, avhengig av avfallets strålingsaktivitet og halveringstid. Noen løsninger er bare egnet for kortlivet, lav- og mellomaktivt avfall, mens andre løsninger er egnet for alle typer radioaktivt avfall. Enkelte typer avfall må stabiliseres før det kan deponeres forsvarlig. Mange kjernekraftproduserende stater reprosesser (opparbeider) brukt brensel for å skille ut råvarene uran og plutonium til gjenbruk i brenselssyklusen eller for å redusere avfallsvolumet. Reprosessering vil dessuten også stabilisere brukt brensel som er ustabilt og dermed muliggjøre deponering. For noen avfallstyper finnes det også andre muligheter for stabilisering.

For noen avfallstyper kan det også være aktuelt med salg eller eksport til andre land eller retur til opprinnelsesland gjennom internasjonale eller bilaterale avtaler.



I det nedenstående beskrives de ulike mulighetene kort. Deretter viser vi hvilke muligheter som ikke oppfyller kravene for oppbevaring av radioaktivt avfall slik disse er definert i KVV-en.

6.2. Salg/eksport/retur

Enkelte typer radioaktivt avfall kan sendes ut av landet, for videre ivaretagelse der. Dette gjelder for eksempel for deler av brenselet som er benyttet i de norske reaktorene, som er blitt returnert til opprinnelsesland. Det gjelder også for deler av utstyret som benyttes i sykehusene, der det er avtalt at den

utenlandske produsenten ivaretar avfallsbehandlingen. Noen deler av avfallet kan ha kommersiell verdi ved videre bruk, og kan således selges i et internasjonalt marked. Et eksempel på slikt avfall kan være tungtvannet fra Halden-reaktoren, som kan tenkes solgt til en utenlandsk reaktor.

Et samarbeid mellom land om felles mellomlager eller deponi, der dette ligger utenfor Norge, kan også anses som en form for eksport. Vi har likevel valgt å kategorisere denne muligheten under mellomlagring og deponering. Det samme gjelder for reprosessering, der uran og plutonium forblir i det land der reprosessering skjer – vi har kategorisert dette som en mulighet under stabilisering.

6.3. Stabilisering

Med stabilisering mener vi først og fremst tiltak som har som formål å sikre at avfallet blir i en stand som gjør det egnet for deponering. Det er ulike former for stabilisering med dette formålet som omtales under.

På kort sikt kan det også være nødvendig med tiltak for å sikre at avfallet er egnet for mellomlagring og transport. Fjerning av uranhydrater på det metalliske brenselet og ompakking fra korroderte kapsler til en kapsel med sikker atmosfære er også en form for stabilisering, men trolig ikke tilstrekkelig for å kunne deponere i et dyp-deponi.

Stabilisering i form av reprosessering har også fordeler knyttet til gjenbruk av ressurser og reduksjon av avfallsvolumer. Derfor kan stabilisering i vår kategorisering også være en mulighet for avfall som i utgangspunktet er stabilt, som oksidbrensel med zirkoniumkapsling.



6.3.1. Reprosessering (opparbeiding)

Reprosessering tilbys som en kommersiell tjeneste flere steder i verden, herunder Frankrike, Russland og Japan¹⁰. Reprosessering er en mulighet som i praksis kun er relevant for brukt brensel, ikke andre typer radioaktivt avfall. Det finnes ulike underarter av reprosessering, og teknologien videreutvikles stadig.

Reprosessering ved PUREX-prosessen er den mest aktuelle metoden. Denne prosessen består i at brenselelementene kuttes i biter og oppløses i salpetersyre, før de ulike bestanddelene i brenselet separeres fra hverandre i flere trinn. Uran og plutonium skilles ut fra avfallsproduktene, slik at uranet og plutoniumet kan gjenbrukes, gjerne i form av MOX-brensel til bruk i atomreaktorer. Uran og plutonium kan også returneres til avfallsprodusenten dersom dette er ønskelig. Slik dette foregår hos

¹⁰ Etter noen år uten kommersielt tilbud om reprosessering i Japan synes det som om tjenesten vil gjenåpnes snarlig. Ved en gjenåpning forventes det at man vil prioritere japansk brensel, blant annet fra Fukushima-Daiichi-kraftverket, i mange år fremover.

reprosesseringsaktøren Areva i Frankrike, vil avfallet og uranet/plutoniumet i så fall returneres som to separate enheter.

Avfallet som returneres etter reprosessering skal ha samme aktivitet som brenselet som ble reprosessert. Det returnerte avfallet vil vanligvis være i form av høyaktivt avfall (HLW). Men det finnes også mulighet for at det returneres et større volum med mellomaktivt avfall (ILW). Den totale aktiviteten vil fortsatt være den samme, men volumet av mellomaktivt avfall vil være om lag ti ganger så stort som volumet av høyaktivt avfall. Avfallet som returneres vil komme i form av innglasset (vitrifisert) avfall eller kompaktet kapslingsmateriale.

Dersom uranet og plutoniumet returneres til Norge adskilt fra avfallet, vil det kreve en svært sikker form for lagring/deponering av dette avfallet, for å hindre at dette kommer i uvedkommende hender. Selv om uranet og plutoniumet som skilles ut ved reprosessering ikke direkte kan benyttes i kjernevåpen, fordi det ikke er rent nok, vil det påløpe betydelig merkostnader ved en håndtering og sikring av et slikt materiale. Hvis man kunne ha fått uran og plutonium sammenblandet med avfallsprodukter (HLW) vil man i større grad ha en egenbeskyttelse. Det synes ikke å være en tilgjengelig kommersiell løsning i dag (Se kjemisk kondisjonering).

Reprosessering kan i prinsippet gjennomføres også i Norge ved at det etableres et anlegg for dette. Det er tidligere gjennomført liknende prosesser på Kjeller, men dette arbeidet ligger langt tilbake i tid, og prosessen benyttet den gang vil neppe tilfredsstille dagens krav til dokumentasjon og sikkerhet. Etablering av et fullverdig anlegg for reprosessering i Norge er antagelig mulig, men vil være tidkrevende og svært kostbart.

6.3.2. Kjemisk kondisjonering

En form for kjemisk stabilisering, der uranet og plutoniumet ikke er skilt ut fra avfallsproduktene, omtales ofte som kondisjonering eller kjemisk kondisjonering. Dette kan betraktes som en delvis reprosessering, hvor prosessen kun drives så langt at avfallet blir stabilt, men ikke så langt at uran og plutonium skilles ut fra avfallet.

Kvalitetssikrer kjenner ikke til over kommersielle aktører som tilbyr en slik kondisjonering av brukt brensel. Reprosesseringsanlegget i La Hague i Frankrike tilbyr ikke denne tjenesten.

6.3.3. Fysisk kondisjonering

Radioaktivt avfall som av ulike grunner ikke bør direkte deponeres, kan stabiliseres gjennom ulike former for fysisk kondisjonering. Fysisk kondisjonering kan bestå i å tørke avfall, å kutte avfall i biter, og å støpe ned avfall i betong eller epoxy. Slike former for stabilisering kan være aktuelt for avfallstyper som thoriumbrensel, uranløsning («yellow cake»), tungtvann, snittskiver av forskningsbrensel («PIE») og annet.

For det metalliske brenselet er det ikke identifisert noen mulige løsninger for fysisk kondisjonering i dag, men det kan ikke utelukkes at slike løsninger vil finnes i fremtiden.

Alle former for fysisk kondisjonering vil kreve en egnet infrastruktur, antagelig i form av en eller flere «hot cells»¹¹ med nødvendige verktøy integrert.

6.3.4. Ompakking

For oksidbrenselet med aluminiumskapsling er det foreslått en stabiliseringsform som vi her omtaler som ompakking. Her består løsningen i at brenselet fjernes fra aluminiumskapslingen, og legges over i annen egnet beholder eller pakkes inn i et mer stabilt kapslingsmateriale som muliggjør deponering. Denne løsningen er ikke tidligere utprøvd og krever derfor forskningsmidler til å utvikle de detaljerte løsningene for prosessen. Det fremstår likevel som sannsynlig at man vil klare å utvikle gode løsninger for dette dersom man er villig til å legge ned ressurser til å utvikle metoden. Det kan også tenkes at andre land vil ønske å

¹¹ Beskyttede og lukkede rom hvor håndtering av materialer kan foretas ved hjelp av fjernstyring.

utvikle en slik metode i fremtiden, men kvalitetssikrer kjenner ikke til spesifikke prosjekter med dette som formål.

I tillegg til forskningsressurser krever løsningen investeringer i infrastruktur, antakelig en egen hot cell med nødvendige verktøy til å implementere metoden.

6.3.5. Transmutasjon

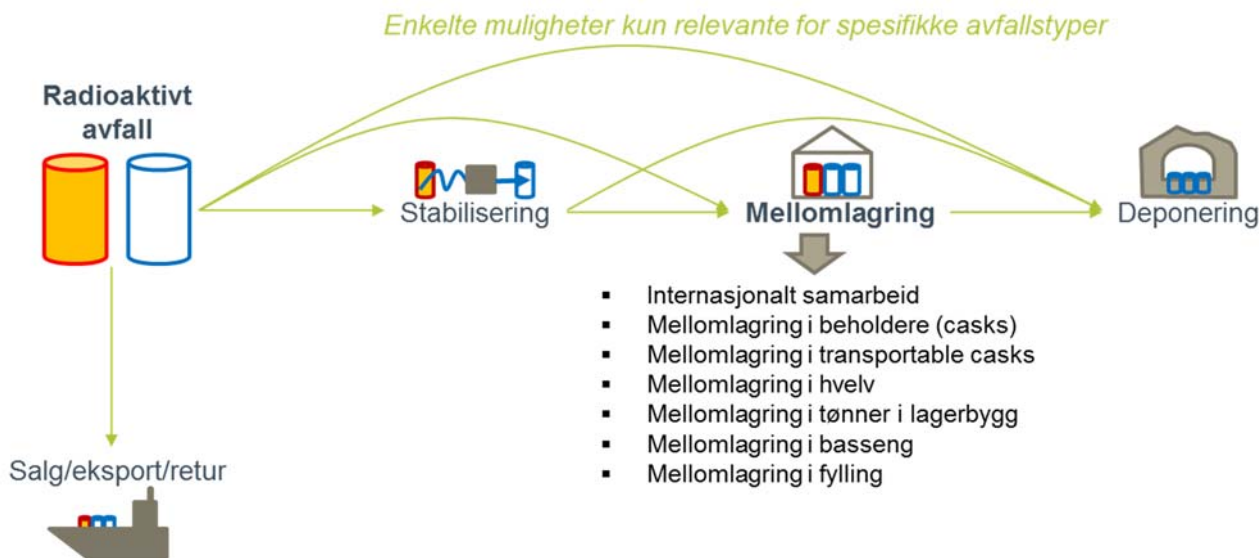
Det forskes på en teknologisk løsning som gjerne omtales som transmutasjon, men dette er ikke tilgjengelig teknologi per i dag. Transmutasjon kan regnes som en videreutvikling av reprosessering, der ressursene resirkuleres samtidig som avfallet som kommer ut av prosessen blir langt enklere å lagre og oppbevare. Dette skjer ved at nuklider med lang halveringstid transformeres til nuklider med kortere halveringstid eller stabile nuklider. Prosessen foregår gjennom bestråling i atomreaktorer, som kan være kraftproduserende reaktorer av visse typer.

Selv om det forskes på transmutasjon, er det lite trolig at prosessen vil være kommersielt tilgjengelig for det norske brukte brenselet innenfor et overskuelig tidsrom.

6.4. Mellomlagring

Mellomlagring er en form for oppbevaring som kan benyttes for alle typer radioaktivt avfall. Mellomlagring kan skje i påvente av stabilisering eller i påvente av deponering. Ventingen kan være nødvendig grunnet egenskaper ved avfallet, eller fordi verktøyet for stabilisering eller deponiet er under utvikling. Mellomlagring kan også være en løsning som velges fordi det er ønskelig å utsette en beslutning om stabilisering eller deponering til et senere tidspunkt, enten dette er av finansielle, teknologiske eller politiske årsaker. For noen typer svært kortlivet avfall kan også mellomlagring være en løsning i påvente av at avfallet kan friklasseres, dersom et slikt friklassingsregime er etablert.

Mellomlagring skjer i Norge i dag ved reaktorene på Kjeller og i Halden, i radavfallsanlegget på Kjeller og i KLDRA i Himdalen.



Det vil stilles lavere krav for et mellomlager for lavaktivt avfall enn for et mellomlager for henholdsvis mellomaktivt avfall og høyaktivt avfall. For svært kortlivet og lavaktivt avfall kan for eksempel en fylling være tilstrekkelig sikkert, mens brukt brensel krever helt andre former for sikring.

6.4.1. Mellomlagring i basseng

Våtlagring er en løsning som benyttes ved dagens reaktorer på Kjeller og i Halden. Vann benyttes for å kjøle det brukte brenselet, og for å isolere stråling.

Det finnes internasjonalt flere eksempler på storskala mellomlagring i basseng, som for eksempel Clab i Sverige. Våtlagring anses generelt å være mer kostbart enn tørrlagring.

6.4.2. Mellomlagring i beholdere (casks)

Flere kommersielle produsenter utvikler beholdere, som er egnet for transport og/eller lagring av radioaktivt avfall. Beholderne består gjerne av metall og betong, og kommer i ulike utforminger og størrelser. Disse beholderne er gjerne utformet både med tanke på å isolere radioaktiv stråling ved normal bruk, men også for å kunne motstå uønskede hendelser ved transport og lagring, som for eksempel kollisjon, brann og jordskjelv.

En av fordelene med beholderne er skalerbarheten, da det er relativt enkelt å utvide ved å anskaffe flere slike. Beholderne har typisk en garantert levetid på 40-60 år, men det er også mye som tyder på at levetiden i praksis kan være betydelig lenger.

Beholderne kan i utgangspunktet plasseres på en hvilken som helst plass med et egnet underlag, men kan også settes i en lagerbygning, under et lett-tak eller i en tunnel. Når de ikke lenger er i bruk, kan de i teorien selges til videre bruk annet sted hvis de fortsatt kan lisensieres, eller dekommisjoneres på lik linje med andre mellomlagringsløsninger.

6.4.3. Mellomlagring i hvelv

En hvelvløsning er en massiv betongkonstruksjon der det er etablert en rekke posisjoner i form av hull der det plasseres metallbeholdere som inneholder det radioaktive avfallet. Både i Halden og på Kjeller er det i dag lagerløsninger som kan kategoriseres som mellomlagring i hvelv. Avfallet lagres tørt, og naturlig luftsirkulasjon ivaretar behovet for avkjøling.

Det finnes også en rekke eksempler i utlandet der denne løsningen er benyttet i stor skala.

6.4.4. Mellomlagring i tønner i lagerbygg

Avfall med lavere aktivitet kan lagres i betongforede metalltønner, som er plassert i et lagerbygg, fjellhall eller lignende. Dette gjøres i dag i Norge både i tilknytning til radavfallsanlegget på Kjeller og i Himdalen. Denne løsningen krever ikke betydelig infrastruktur og er forholdsvis lite kostbar. Løsningen er ikke sikker nok for brukt brensel.

6.4.5. Mellomlagring i fylling

Lavaktivt, kortlivet avfall kan også tenkes oppbevart i fyllinger. En slik mellomlagring vil være i påvente av at aktiviteten reduseres tilstrekkelig til at avfallet kan friklasseres, og således kan gjenbrukes eller behandles som normalt avfall.

I Norge finnes ikke slike løsninger i dag. Løsningen er betinget av at det finnes et regime for friklassing, som tillater at avfall som har vært radioaktivt frigis etter nødvendig oppbevaring i en slik fylling.

6.4.6. Samarbeid med annet land

Alle mellomlagringsløsninger vil innebære driftskostnader knyttet til overvåkning og vedlikehold. Overvåkningen vil både gjelde sikkerhet i form av adgangskontroll og perimetersikring, men også overvåkning i et strålevernsperspektiv. Det vil knytte seg stordriftsfordeler til slike mellomlagringsløsninger, i og med at bemanningsbehovet ikke øker like raskt som en økning i volumet som lagres.

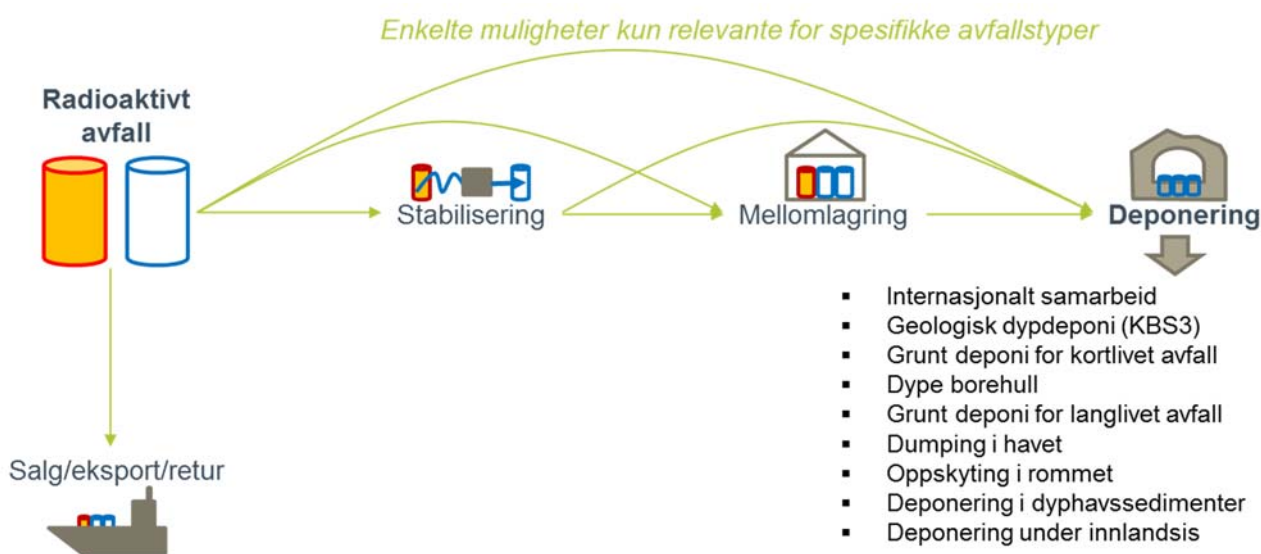
Et samarbeid med annet land kan utløse slike stordriftsfordeler, og dermed gi gevinster både for landet der lageret er lokalisert, og landet som leverer avfall. Til gjengjeld kan det oppstå avstandsulempen som gir økte transportkostnader.

Det er i liten grad etablert løsninger for internasjonalt samarbeid om mellomlagring. Majak-anlegget i Russland tilbyr visstnok mellomlagring som en kommersiell tjeneste, men ellers synes det ikke å eksistere slikt samarbeid i dag.

Et internasjonalt samarbeid vil antagelig være mest relevant for høyaktivt og langlivet avfall, der kostnadene er høyest og den løpende avfallsproduksjonen i Norge er begrenset.

6.5. Deponering

Deponering skiller seg fra mellomlagring ved at deponering ikke krever tilsyn og vedlikehold på lang sikt. Mens deponiet er åpent og mottar avfall, fungerer det i praksis som et lager, med de samme krav til overvåkning. Men når deponiet er forseglet, skal deponiet gi sikker oppbevaring uten noen overvåkning eller vedlikehold «til evig tid» eller så lenge avfall fortsatt er radioaktivt.



Et deponi for kortlivet avfall vil kunne utformes annerledes enn et deponi for langlivet avfall, fordi deponiets nødvendige levetid er ulik. Et underjordisk deponi for langlivet avfall må for eksempel ligge dypere enn et deponi for kortlivet avfall. Deponiløsningen skal gi tilstrekkelig sikkerhet for at mennesker og miljø ikke blir utsatt for stråling fra materialene i tiden de avgir stråling. Det er antatt at dypere deponi vil gi mer langvarig trygghet, i prinsippet over flere hundre tusen år.

6.5.1. Dumping i havet, oppskyting i rommet, deponering i dyphavssedimenter, deponering under innlandsis

Det har i ulike utredninger opp gjennom historien vært vurdert en rekke former for deponering av radioaktivt avfall. Noen muligheter som ikke er realisert noe sted er oppskyting i rommet, deponering i dyphavssedimenter og deponering under innlandsis. En løsning med deponering i dyphavssedimentene er tenkt gjennom at avfallet innkapsles, og at denne kapselen begraves rundt 50 meter ned i havbunnen. Amerikanske studier har vist at det er mulig å sende radioaktivt avfall med rakett ut i verdensrommet, men kostnadene er svært høye. Innlandsis-alternativet kunne antagelig bare vært aktuelt på Grønland eller Sydpolen, men klimatiske endringer har gjort alternativet mindre aktuelt. Dumping i havet er en løsning som er brukt en rekke steder gjennom historien, men som ikke lenger benyttes (i hvert fall ikke i den vestlige verden).

Med mulig unntak for oppskyting i rommet vil alle disse alternativene være i strid med internasjonale avtaler.

6.5.2. Geologisk dypdeponi

I Sverige og Finland er geologiske dypdeponier under utvikling. Det finske anlegget vil være først ute, med planlagt mottak av brukt brensel fra og med et stykke ut på 2020-tallet. Det finske og svenske anlegget

følger i stor grad samme mal (KBS3). Det graves en tilkomsttunnel 400-500 meter ned i stabile fjellmasser. I bunn av tilførselstunnelene anlegges det horisontale tunneler som er selve deponiene. I disse tunnelene bores det hull, og i disse hullene anbringes det metallrør (kobber) fylt med det radioaktive avfallet. Metallrørene omgis med bentonitt. Når den enkelte tunnel er fylt opp med avfall, fylles den igjen med bentonitt og stein. Når deponiet stenges endelig, fylles også hele tilførselstunnelen igjen, og alle installasjoner på bakkenivå fjernes. Etter dette trinnet er deponiet forseglet. Det vil deretter ikke være noen form for overvåkning av anlegget.

6.5.3. Grunt deponi for kortlivet avfall

For avfall som er mindre langlivet kan et deponi ligge langt grunnere enn et geologisk dypdeponi. Et eksempel er det norske KLDRA i Himdalen, deponi for lav- og mellomaktivt avfall som i all hovedsak er kortlivet. Himdalen-anlegget består av fire fjellhaller der avfallet plasseres i tønner som støpes ned i betong. Når anlegget er fylt opp, fylles det igjen med betong og stein.

6.5.4. Grunt deponi for mellomaktivt, langlivet avfall

Dersom vi velger å sende alt brukt brensel til reprosessering og få mellomaktivt avfall i retur, kan det tenkes at vi kan deponere dette avfallet i et noe enklere deponi, nærmere overflaten enn den svensk/finske løsningen for dypdeponi.

I Dounreay, Skottland, planlegges det nå et lager for denne typen avfall, i tillegg til thoriumavfall og andre avfallstyper. Det vurderes om dette lageret på sikt kan omgjøres til et deponi. Det er imidlertid usikkert i dag om denne løsningen innebærer et forsvarlig deponi på lang sikt.

6.5.5. Dype borehull

Både i Sverige og Finland er det gjennomført utredninger av dype borehull, før det ble konkludert med å bygge geologiske dypdeponier. I USA forskes det også på dype borehull som mulig deponiløsning. Løsningen innebærer å bore seg svært dypt ned i stabile fjellformasjoner, antagelig 3-5 km ned under bakken. Radioaktivt avfall innkapsles i metallbeholdere som fires ned i hullet, som så fylles igjen med egnet fyllmateriale. Denne løsningen er nærmere beskrevet i vedlegg 4.

6.5.6. Samarbeid med annet land

Det kan tenkes samarbeid med andre land om deponi hovedsakelig i to former:

1. Det etableres et deponi i Norge for langlivet avfall som også andre land benytter seg av
2. Norge får benytte seg av et deponi for langlivet avfall etablert i et annet land

Det er betydelige kostnader knyttet til å etablere et deponi for langlivet avfall som brukt brensel. Det er derfor også et større innsparingspotensial knyttet til samarbeid om et slikt deponi enn om et deponi for mer kortlivet avfall.

Dersom det etableres et deponi i Norge for brukt brensel, er det mest naturlig å tenke seg at det skjer i samarbeid med andre land som kun har forskningsreaktorer og således ikke har betydelige avfallsvolumer.

Dersom man skulle forsøke å få til et samarbeid der Norge får benytte deponi for brukt brensel i annet land, fremstår i dag Sverige og Finland som de mest relevante samarbeidspartnere. Dette er de to landene som står nærmest å etablere et deponi i verden i dag. Begge disse landene har imidlertid lovfestet at de ikke kan ta imot radioaktivt avfall fra andre land.

6.6. Salg/eksport/retur

Løsninger der andre land ivaretar avfallet for Norge, vil kunne være kostnadseffektive fordi Norge selv slipper kostnadene ved avfallsbehandling. Slike løsninger kan være internasjonalt samarbeid slik det er omtalt i beskrivelsen av mellomlagring og deponering, men det kan også være i form av salg (dersom

avfallet kan være en ressurs), retur til landet som er kilde til avfallet (for eksempel landet der brensel ble produsert), eksport av avfallet til annet land som har egeninteresse av at avfallet ivaretas på en god måte (for eksempel for å hindre spredning av uran/plutonium) og derfor er villig til å ta imot det, eller dumping av avfallet i utlandet.



6.6.1. Salg for videre bruk

Enkelte deler av det norske radioaktive avfallet kan betraktes som en ressurs av andre. Eksempler på dette er uranet og plutoniumet i det brukte brensel, og tungtvannet fra reaktoren i Halden. I disse tilfellene kan det da være betalingsvilje i markedet for å overta dette radioaktive materialet fra Norge.

6.6.2. Retur til opprinnelsesland

Det er forholdsvis vanlig at retur av brukt brensel inngår som en del av avtalen ved kjøp av nukleært brensel. Norge har hatt slike avtaler for deler av sitt brensel. I følge IFE finnes det ikke slike avtaler for det resterende brukte brensel i Norge. Det er fra IFEs side likevel gjort forsøk på å få returnert dette brukte brensel.

6.6.3. Eksport for ivaretagelse

Enkelte land, som USA, kan ha en egeninteresse i, og en vilje til å sikre, at radioaktivt materiale oppbevares på en sikker måte. Dette vil da særlig være begrunnet i frykten for spredning av uran eller plutonium til bruk i produksjon av atomvåpen. Men det kan også tenkes at frykten for at terrorister får tak i materiale til å fremstille skitne bomber kan være grunnlag for et lands ønske om å ta seg av også andre lands radioaktive avfall.

Sverige har tidligere betalt USA 160 millioner kroner for at USA skulle ivareta 3 kg plutonium som Sverige ellers måtte sikre.

6.6.4. Dumping

Som for andre typer avfall anses det ikke som forsvarlig å eksportere avfallet til et land som ikke har etablerte anlegg for sikker ivaretagelse av avfallet. En slik løsning vil være i strid med IAEAs prinsipper om at hvert land tar ansvaret for eget avfall.

6.7. Mulighetene vurdert opp mot kravene

Vi har definert syv krav i kravkapitlet. Fire er absolutte krav, det vil si at mulighetene må oppfylle disse fire kravene for å bli videreført til alternativanalysen. De tre øvrige er bør-krav, som benyttes som

vurderingskriterier. For å ikke få for mange alternativer i alternativanalysen, videreføres bare de alternativene som i størst grad oppfyller bør-kravene.

Følgende krav er definert:

1. Risikonivå for skadelige virkninger på menneskers helse skal være innenfor akseptable grenser
2. Løsningen skal gi akseptabel sikkerhet mot tyveri eller uønsket inntrengning
3. Risikonivåer for skadelige virkninger på miljøet skal være innenfor akseptable grenser
4. Forurensere skal betale for avfallshåndteringen, så kommende generasjoner ikke belastes
5. Anleggene bør oppleves som trygge og sikre, og det bør være aksept i befolkningen for valgte løsninger
6. Konseptene bør anvende utprøvd teknologi
7. Konseptene bør være i henhold til nasjonalt regelverk og internasjonale avtaler

Vi har vurdert hvorvidt de ulike løsningene oppfyller de syv kravene. Når det gjelder krav 5 om aksept i befolkningen, vil oppfyllelsen i stor grad avhenge av hvordan tiltaket formidles til befolkningen, og for noen tiltak også av prosessen rundt iverksettelsen. Dersom en deponiløsning skal oppfattes som trygg av befolkningen avhenger det trolig av at prosessen inkluderer lokalbefolkningen og at folk mottar god og tilstrekkelig informasjon om bakgrunnen for deponiet, sikkerheten og hvilke tiltak som iverksettes for at utslipp ikke skjer. Etter vår vurdering vil det for alle løsninger som oppfyller de absolutte kravene til sikkerhet og forurensere betaler også være mulig å overbevise befolkningen om sikkerheten med riktig formidling. De løsningene som vi vurderer at befolkningen i utgangspunktet kan være negativ til, men som man bør kunne oppnå aksept for gjennom riktig formidling, er vurdert å oppfylle kravet om aksept i befolkningen under forutsetning om god formidling.

Resultatet av vurderingen er som følger:

6.7.1. Salg/retur/eksport – kravoppfyllelse

Vurdering: Oppfyller løsningen kravet?	K1 - helse	K2 - tyveri	K3 - miljø	K4 – forurensere betaler	K5 – aksept i befolkningen	K6 – utprøvd teknologi	K7 – i henhold til lover/ avtaler
Salg for videre bruk	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	I/R	Ja
Retur til opprinnelsesland	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	I/R	Ja
Eksport til annet land for ivaretagelse	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	I/R	Ja
Dumping i annet land	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	I/R	Nei

All eksport av avfall fra Norge må skje i ordnede forhold, der det er sikkerhet for hvordan avfallet vil ivaretas i utlandet. Dersom dette er på plass, er både salg, retur til opprinnelsesland og eksport til annet land for ivaretagelse løsninger som oppfyller kravene.

6.7.2. Stabilisering – kravoppfyllelse

Vurdering: Oppfyller løsningen kravet?	K1 - helse	K2 - tyveri	K3 – miljø	K4 – forurensere betaler	K5 – aksept i befolkningen	K6 – utprøvd teknologi	K7 – i henhold til lover/ avtaler
Reprosessering i utlandet uten retur av uran/plutonium	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja, forutsatt formidling	Ja	Ja
Reprosessering i utlandet med retur av ILW	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja, forutsatt formidling	Ja	Ja
Kondisjonering i utlandet med retur av integrert uran/plutonium	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja, forutsatt formidling	Usikkert	Ja
Reprosessering i utlandet med retur av uran/plutonium	Ja	Nei	Ja	Ja	Usikkert	Ja	Ja
Reprosessering i Norge	Usikkert	Ja	Usikkert	Ja	Usikkert	Nei	Ja
Fysisk kondisjonering	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Ompakking	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nei	Ja
Transmutasjon	Usikkert	Usikkert	Usikkert	Usikkert	Usikkert	Nei	Usikkert

Av stabiliseringsløsningene er det fysisk kondisjonering som gir størst kravoppfyllelse. Denne stabiliseringstypen er ikke egnet for alle avfallstyper. Også reprosessering i utlandet uten retur av uran/plutonium oppfyller kravene i stor grad. Dette er en mulig løsning for det ustabile brukte brensel. Ompakking, en løsning som er relevant for det aluminiumskapslede brukte brensel, er også en løsning som i stor grad oppfyller kravene.

Reprosessering i Norge, reprosessering med retur av uran/plutonium og transmutasjon er tre former for stabilisering som i liten grad oppfyller kravene, og som vi således ikke har vurdert i det videre arbeid. Transmutasjon er ikke en tilgjengelig teknologi i dag og det er heller ingen utsikter til at denne teknologien skal bli tilgjengelig i nær fremtid. Denne løsningen er derfor vurdert med en usikker kravoppfyllelse og er ikke vurdert i det videre arbeidet.

6.7.3. Mellomlagring – kravoppfyllelse

Vurdering: Oppfyller løsningen kravet?	K1 - helse	K2 - tyveri	K3 - miljø	K4 – forurenses betaler	K5 – aksept i befolkningen	K6 – utprøvd teknologi	K7 – i henhold til lover/ avtaler
Internasjonalt samarbeid	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja, forutsatt formidling	I/R	Ja
Beholdere	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Transportable casks	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Hvelv	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Tønner i lagerbygg	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Basseng	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Fylling	Ja	Ja	Ja	Ja	Usikkert	Ja	Usikkert

Det understrekes at kravoppfyllelsen er vurdert spesifikt for den avfallstype som er egnet for mellomlagerløsningen. For eksempel er løsningen med tønner i lagerbygg en løsning som oppfyller alle krav, så lenge det ikke er høyaktivt eller langlivet avfall.

De fleste mellomlagringsløsningene har god kravoppfyllelse. Enkelte løsninger er mindre kostnadseffektive, som for eksempel basseng og antagelig hvelv, men kostnadseffektivitet er ikke inntatt som krav.

6.7.4. Deponering – kravoppfyllelse

Vurdering: Oppfyller løsningen kravet?	K1 - helse	K2 - tyveri	K3 - miljø	K4 – forurenses betaler	K5 – aksept i befolkningen	K6 – utprøvd teknologi	K7 – i henhold til lover/ avtaler
Internasjonalt samarbeid	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja, forutsatt formidling	I/R	Ja
Geologisk dypdeponi (KBS3)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja, forutsatt formidling	Usikkert	Ja
Grunt deponi kortlivet avfall	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja, forutsatt formidling	Ja	Ja
Dype borehull	Usikkert	Usikkert	Usikkert	Ja	Ja, forutsatt formidling	Nei	Ja

Vurdering: Oppfyller løsningen kravet?	K1 - helse	K2 - tyveri	K3 - miljø	K4 – forurensere betaler	K5 – aksept i befolkningen	K6 – utprøvd teknologi	K7 – i henhold til lover/ avtaler
Grunt deponi mellomaktivt, langlivet avfall	Usikkert	Usikkert	Usikkert	Usikkert	Usikkert	Nei	Usikkert
Dumping i havet	Nei	Usikkert	Nei	Nei	Nei	Ja	Nei
Oppskyting i rommet	Ja	Ja	Ja	Ja	Usikkert	Nei	Nei
Deponering i dyphavssedimenter	Nei	Ja	Nei	Nei	Nei	Nei	Usikkert
Deponering under innlandsis	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei	Usikkert

En rekke av deponiløsningene har for dårlig kravoppfyllelse til å vurderes videre. Dette gjelder dumping i havet, oppskyting i rommet, deponering i dyphavssedimenter og deponering under innlandsis.

Geologisk dypdeponi og grunt deponi for kortlivet avfall er løsningene med størst kravoppfyllelse, og denne løsningen kan gjennomføres alene eller i samarbeid med annet land, dersom man velger å se bort fra at ingen land foreløpig har samarbeidet om deponiløsninger.

Borehullsløsningen er i utgangspunktet ikke en utviklet teknologi for deponering av radioaktivt avfall, så det vil kreve betydelig metode- og teknologiutvikling før denne løsningen er aktuell.

6.8. Ikke alle løsninger er relevante for alle avfallstyper

For hver enkelt type avfall må det vurderes hvilke alternative løsninger som er relevante. Dermed blir mulighetsstudien kompleks. Figur 6-1 illustrerer hvordan ulike typer avfall og ulike løsningsalternativer passer sammen.

Figur 6-1 Løsningsalternativer som er aktuelle for de ulike avfallstypene

	Oksidbrensel, alu-kapsling	Oksidbrensel, Zr-kapsling	Metallisk brensel	Thoriumoksidbr, Zr-kapsling	Ikke bestrålt uranoksid	Yellow cake	PIE - snitt av testbrensel	Radiumnåler	Ionutvekslingsmateriale	Tungtvann	Med. isotoper+røykvarslere	Dekomm-avfall, betong	Dekomm-avfall, metall
Reprosessering, HLW i retur													
Reprosessering, ILW i retur													
Reprosessering, HLW og plutonium/uran i retur													
Reprosessering, ingenting i retur													
Ompakking i Norge, uten fjerning av kapsling													
Ompakking i Norge, med fjerning av kapsling													
Fysisk stabilisering i Norge eller utlandet													
Kjemisk stabilisering i utlandet													
Direkte deponering dypdeponi													
Direkte deponering KLDRA													
Langtidslagring													
Gi bort eller selg til annet land, gjenbruk													

6.9. Løsninger som er aktuelle for hovedgrupper av avfall

Det radioaktive avfallet kan kategoriseres i fem ulike hovedkategorier:

- Metallisk brensel
- Aluminiumskapslet oksidbrensel
- Zirkoniumkapslet oksidbrensel
- Annet langlivet avfall utenom brukt brensel
- Kortlivet radioaktivt avfall

For hver av disse avfallstypene har vi vurdert hvilke alternative løsninger som er aktuelle. Noen løsninger er videreført til alternativanalysen og blir kostnadsberegnet som del av ett eller flere av alternativene. Andre løsninger vurderes å være relevante, men kostnadsberegnes ikke. Ytterligere andre løsninger forkastes fordi kravopfyllelsen ikke er god nok.

6.9.1. Metallisk brensel – løsninger som er aktuelle

Det metalliske brenselet er ustabil. Avfallet er selvantennelig ved kontakt med luft og reagerer med vann. IFE er i gang med å undersøke dette brenselet og har funnet fukt i dagens lagringsbeholdere. Dagens lagre kan derfor trolig ikke videreføres på forsvarlig vis og det må i nær fremtid etableres en ny løsning for dette brenselet.

Fortsatt lagring krever at brenselet overføres til nye beholdere (etter eventuelt å ha vært behandlet for å fjerne hydrater) og tilsettes inertgass for å forhindre videre hydratutvikling. Dersom man investerer i nye beholdere vil avfallet likevel fortsatt være ustabil og ikke kunne direkteponeres. Det metalliske brenselet bør derfor stabiliseres så fort som mulig, før videre lagring og endelig deponering.

Teknisk utvalg har vurdert de potensielle mulighetene for det metalliske brenselet og anbefaler reprosessering med PUREX-metoden. Utvalget konkluderer med at det er den eneste teknologiske løsningen for stabilisering av metallisk brensel som er tilgjengelig på nåværende tidspunkt. I tillegg har de

utredet mulighetene for følgende strategier: direkteponering, fortsatt lagring med utsatt beslutning, eksport av brenselet, fysisk kondisjonering med elektrometallurgisk kondisjonering og kondisjonering gjennom kalsinering.

Det er hittil ikke avdekket muligheter for eksport av brenselet, for eksempel som del av et internasjonalt samarbeid. Når det gjelder direkteponering, er det internasjonal enighet om at dette ikke er en forvarlig mulighet for metallisk brensel. Sverige vurderte denne muligheten for sitt brensel, men reprosessering ble valgt som løsning. Grunnet sin ustabile form er brenselet heller ikke egnet for langtidslagring og en utsatt beslutning frarådes derfor. På nåværende tidspunkt har vi tilleggsinformasjon som tilsier at dagens lagre er i dårligere stand enn tidligere antatt, og fortsatt lagring som i dag vil derfor være uforsvarlig.

Når det gjelder de alternative teknologiske mulighetene for stabilisering av det metalliske brenselet er det kun reprosessering ved PUREX-metoden som er kommersielt tilgjengelig i dag. Fysisk kondisjonering med elektrometallurgisk kondisjonering er en annen utviklet teknologi, men denne prosessen tilbys ikke kommersielt og Norge måtte i såfall ha bygget opp et eget anlegg for å gjennomføre en slik prosess. Metoden er utviklet for brensel som ikke kan reprosesserer med PUREX-metoden og anses ikke å ha fordeler sammenlignet med PUREX for det norske brenselet. Dette anbefales derfor ikke.

Den siste teknologiske muligheten som er vurdert er kondisjonering gjennom kalsinering. Dette innebærer en tørr oksidering fra metallisk uran til UO₂. Denne metoden eksisterer kun som et forslag og er en endelig løsning er ikke utviklet. Ellers anses ikke denne metoden å ha fordeler sammenlignet med PUREX-metoden.

Det er i dag to utenlandske aktører som tilbyr reprosessering ved PUREX-metoden som en kommersiell tjeneste; en i Frankrike og en i Russland. Det har tidligere vært diskutert om Norge skal bygge opp et eget reprosesseringsanlegg for å kunne utføre stabilisering selv. Dette er vurdert å medføre unødvendig høye kostnader og sikkerhetsutfordringer, gitt at vi har en svært liten avfallsmengde og at vi ikke vil kunne gjøre dette bedre enn utenlandske aktører. Forslaget frarådes derfor.

For det metalliske brenselet har vi kostnadsberegnet stabilisering gjennom reprosessering ved et kommersielt anlegg i utlandet, hvor avfallet kommer i retur i høyaktiv form, mens uran og plutonium beholdes av reprosesseringsaktøren. Andre mulige strategier kan være reprosessering med mellomaktivt avfall i retur, og eventuelt kondisjonering i utlandet (selv om vi ikke har identifisert kommersielle leverandører av denne tjenesten).

SKB i Sverige har i forbindelse med kvalitetssikringsprosessen pekt på to alternative løsninger for behandling av det metalliske brenselet; oksidering og direkteponering i argongass. Begge disse mulighetene er i dag ikke utprøvd på tilsvarende avfall og man vil avhenge av forskning for å utvikle og verifisere teknologien. Teknisk utvalg har tidligere vurdert begge disse mulighetene og anbefalte da at man ikke at man går videre med dem. Direkteponering av det metalliske brenselet ble som nevnt forkastet i Sverige da de valgte å sende sitt metalliske brensel til reprosessering i Sellafield.

Det kan ikke utelukkes at det kan komme alternative stabiliseringsformer for det metalliske brenselet en gang i fremtiden, men slike løsninger må i så fall først utvikles og verifiseres som sikker for deponering. Det stilles svært strenge krav til deponi og omfattende forskning og dokumentasjon må foreligge.

Det vil være nødvendig å etablere et nytt mellomlager for avfallet som kommer i retur fra reprosessering i påvente av tilgang til deponi. I dag anses mellomlagring i beholdere, altså tørr lagring fremfor våt lagring, som det beste og billigste. Fordelen med lagringsbeholdere er også at man kan flytte på avfallet uten å pakke det om, dersom man velger beholdere som er egnet både til transport og lagring (såkalte transportable lagringsbeholdere eller «dual purpose casks»). Vi har kostnadsberegnet et mellomlager i transportable lagringsbeholdere.

I tillegg kan det hende at dagens lagre for metallisk brukt brensel er i såpass dårlig stand at de ikke kan anses som forsvarlige per i dag. Det vil ta noen år å få i stand en avtale om reprosessering med en utenlands aktør, anslagsvis minimum seks år fra kontakt etableres til avfallet kan fraktes fra Norge. Dersom

dagens lagre ikke kan anses som forsvarlige i et slikt tidsperspektiv kan man måtte investere i nye beholdere for det metalliske brenselet også i påvente av avsendelse til reprosessering. Dette vil i såfall innebære langt høyere kostnader til lagringsbeholdere enn det som er nødvendig for å lagre avfallet når det kommer i retur fra reprosessering, fordi returavfallet vil være svært redusert i volum.

Det metalliske brenselet er langlivet, også etter en stabilisering. Avfallet kan derfor ikke deponeres i en løsning lik KLDRA. Vi har lagt til grunn i kostnadsberegningen at det bygges et dypdeponi etter svensk/finsk modell i Norge. Vi fremholder likevel at et internasjonalt samarbeid er den mest ønskelige strategien. Det kan også tenkes andre teknologiske muligheter, som et mellomdypt deponi eller deponering i dype borehull, men da må først teknologien utvikles og dokumenteres som sikker.

6.9.2. Aluminiumskapslet oksidbrensel – løsninger som er aktuelle

Det aluminiumskapslede oksidbrensel kan ikke direkte deponeres grunnet risiko for reaksjon mellom brenselets aluminiumskapsling og metallet i deponeringskapselen. Det er derfor behov for stabilisering. Behovet er likevel mindre akutt enn for metallisk brensel, da oppbevaringsforholdene i dagens lagre anses å være gode for det aluminiumskapslede oksidbrensel og at brenselet i utgangspunktet er egnet for langtidslagring uten stabilisering.

Det er kostnadsberegnet to ulike løsninger for stabilisering av dette avfallet; reprosessering ved PUREX-metoden hos kommersiell aktør i utlandet, med retur av høyaktivt vitrifisert avfall, men ikke retur av uran/plutonium, og fysisk stabilisering i form av omkapsling, det vil si at oksidbrensel tas ut av aluminiumskapslingen og legges over i annen kapsling.

Det vil også kunne være mulig å kondisjonere dette avfallet gjennom andre metoder, men vi har ikke identifisert kommersielle aktører som tilbyr slike tjenester. På samme måte som for annet brukt brensel vil det ved reprosessering med PUREX-metoden være mulig å få avfallet i retur som mellomaktivt avfall i stedet for høyaktivt, men da med et større volum.

I påvente av deponi vil det være behov for etablering av mellomlager; vi har kostnadsberegnet mellomlager i Norge i beholdere. Andre mellomlagerteknologier vil også være mulige, og det kan også tenkes internasjonalt samarbeid om mellomlagring.

Det er kostnadsberegnet et geologisk dypdeponi for det aluminiumskapslede oksidbrensel, både i tilfellet der dette er reprosessert og fysisk stabilisert. Alternative løsninger kan være internasjonalt samarbeid, borehull eller mellomdypt deponi. Det siste vil kreve at avfallet er reprosessert, og returnert i form av mellomaktivt avfall, men er en akseptert metode i dag.

6.9.3. Zirkoniumkapslet oksidbrensel – løsninger som er aktuelle

Dette brukte brensel er stabilt, og kan direkte deponeres. Denne løsningen er kostnadsberegnet. Men vi har også kostnadsberegnet en reprosessering av avfallet. Formålet med reprosessering vil da ikke være stabilisering, men reduksjon og standardisering av avfallet, samt gjenbruk av ressursene. Samme reprosesseringsform som for øvrig brensel er kostnadsberegnet, og det er også her mulig å velge å få avfall i retur i mellomaktiv form.

Mellomlager er nødvendig i påvente av deponi. På samme måte som for øvrig brukt brensel er mellomlagring i transportable lagringsbeholdere ansett som den beste løsningen.

Det er kostnadsberegnet etablering av et geologisk dypdeponi i Norge, men som for øvrige brenselstyper kan det tenkes de samme alternative løsninger.

6.9.4. Annet langlivet avfall – løsninger som er aktuelle

En liten del av avfallsvolumet består av thoriumbrensel, som er ustabilt og derfor ikke kan direkte deponeres. Dette brenselet skiller seg fra andre brenselstyper ved at det antagelig ikke kan reprosesserer. Vi har

undersøkt med Areva, og de utelukker en reprosessering av thorium. Det kan tenkes at andre reprosesseringsaktører kan tilby reprosessering av thorium, men det anses ikke sannsynlig. Fysisk kondisjonering ved innblanding i sement fremstår som den beste løsningen for stabilisering av thorium før dypdeponering. Dette er kostnadsberegnet.

Det finnes også enkelte andre avfallstyper som er av langlivet karakter, som skiver av forskningsbrensel, radiumnåler, ioneutvekslingsmateriale og annet. Noe av dette behøver stabilisering før deponering og kan stabiliseres gjennom fysisk kondisjonering på samme måte som thoriumet. Andre avfallstyper kan direkte deponeres.

Langlivet avfall kan ikke deponeres i KLDRA og krever et dypere deponi. Den eneste tilgjengelige teknologiske løsningen for deponi av både brukt brensel og annet langlivet avfall er den svensk-finske løsningen for dypdeponi. Dersom alt brukt brensel reprosesserer og returneres i form av mellomaktivt avfall, kan det tenkes at det er mulig å utvikle en noe grunnere og enklere deponiløsning til det returnerte avfallet og det andre langlivede avfallet, eksempelvis tilsvarende Dounreay-løsningen. Det vil da være et særlig spørsmål knyttet til thoriumavfallet, som er høyaktivt og i utgangspunktet krever et dypdeponi. Grunnet små mengder kan det likevel tenkes at et grunnere deponi kan være mulig. Det er imidlertid knyttet stor usikkerhet til hvorvidt dette er en mulig løsning, og vi har derfor kostnadsberegnet deponering med svensk-finsk løsning for dypdeponi, akkurat som for de tre brenselkategoriene.

6.9.5. Kortlivet avfall – løsninger som er aktuelle

For radioaktivt avfall som ikke er langlivet, er deponering i KLDRA kostnadsberegnet som løsning. Noe må fysisk stabiliseres før deponering, og noe vil kunne måtte lagres i KLDRA eller på radavfallsanlegget før deponering. Vi har kostnadsberegnet en prosess som er lik den som benyttes for denne typen avfall i dag.

Vi peker videre på muligheten for at deler av avfallet kunne vært friklasset, eventuelt etter noe tid på fylling.

6.10. Nærmere beskrivelse av de mest sentrale løsningene

Vi har kostnadsberegnet stabilisering ved reprosessering og ompakking, mellomlagring i transportable lagringsbeholdere og deponering ved nytt KLDRA og dypdeponi med svensk-finsk løsning. I det nedenstående gir vi en kort beskrivelse av hva reprosessering og dypdeponering innebærer.

6.10.1. Reprosessering (opparbeiding)

Reprosessering er en prosess der uran og plutonium utvinnes fra brukt brensel, ved hjelp av PUREX-metoden. Uran og plutonium kan gjenbrukes i såkalt MOX-brensel. Avfallet som skilles ut utgjør i størrelsesorden 4 % av det brukte brenselet, og dette avfallet stabiliseres ved at det blandes med glass (vitrifisering). Avfallet er høyaktivt og langlivet, men er redusert i volum og giftighet (plutonium og uran er skilt ut), og er også i mer stabil form sammenlignet med det brukte brenselet. Dersom Norge sender deler eller alt av dagens 17 tonn brukt brensel til reprosessering, vil vi få en glassbeholder med høyaktivt og langlivet vitrifisert avfall i retur, samt en beholder med kontaminert kapslingsmateriale av samme størrelse. Disse to beholderne er hver av dimensjon 1,34 meter høyde og 43 cm diameter (illustrert i figuren under).

Land som Frankrike, Japan, Russland og Storbritannia reprosesserer brukt brensel fra kjernekraftverk. Alle disse landene har egne reprosesseringsfabrikker, men ikke alle mottar avfall fra andre land på en kommersiell basis. Globalt er knapt en tredjedel av det brukte brenselet som er blitt produsert reprosessert.

Årlig reprosesserer drøyt 5 000 tonn sivilt brukt brensel globalt, hvorav majoriteten i La Hague i Frankrike og Sellafield i Storbritannia. Sellafield har i dag svært streng regulering av utslipp, men vil ikke ha tilgjengelig kapasitet til annet enn britisk avfall de nærmeste tiårene.

Det er tidligere innhentet et pristilbud fra Mayak-anlegget i Russland. Denne løsningen er mindre aktuell i dag på grunn av EUs (og Norges) sanksjoner mot Russland som følge av folkerettsstridig opptreden i

Ukraina, samt på grunn av bekymringer for at avfallet ikke vil bli behandlet på en miljø- og helsemessig trygg måte i Russland. Anlegget i Japan har vært stengt i noen år, men gjenåpnes trolig snart. Det forventes ikke å ha kapasitet til annet avfall enn det japanske i de nærmeste tiårene.

Vi har innhentet informasjon fra franske Areva om mulighetene ved deres anlegg i La Hague i Frankrike. Reprosesseringsanlegget i La Hague har en årlig kapasitet på 1 700 tonn; Totalt har anlegget repossessert mer enn 25 000 tonn brukt brensel. Hvis Norge repossesserer alt sitt brukte brensel, utgjør det mindre enn 1 % av årsvolumet på La Hague. Alt avfall returneres til opprinnelsesland, mens ressursene omdannes til MOX-brensel. Det kreves en avtale med franske myndigheter for å kunne benytte Arevas tjenester.

Figur 6-2 Reprosesseringsanlegget i La Hague, Frankrike, og avfallsproduktene som sendes i retur fra repossesseringen til opprinnelseslandet



Kilde: Areva

6.10.1.1. Potensielle ulemper med repossessering

KVU-en vurderer det slik mulighetene for repossessering kan være begrenset av hvorvidt det er politisk aksept for en slik løsning. Tidligere utvalg har ikke vurdert repossessering som et alternativ for det stabile brukte brenselet. Både Bergan-utvalget (2001) og Stranden-utvalget (2011) har vurdert det slik at kun det ustabile brukte brenselet bør sendes til utlandet for kondisjonering, gitt at det ikke finnes tekniske muligheter for direkteponering av dette. Disse utvalgene har derimot av politiske hensyn ikke vurdert repossessering av det stabile brukte brenselet som et realistisk alternativ.

Kvalitetssikrer vurderer det slik at repossessering er en god løsning. I Norge har det tidligere vært og er fortsatt delvis skepsis til repossessering, særlig i deler av miljøbevegelsen. Det fremkommer tre argumenter som brukes mot repossessering: Ikke-spredning, utslipp til miljø og risiko for ulykke ved anlegget. I det følgende vurderes hver av disse momentene.

Ikke-spredning: Repossessering skiller ut plutonium og uran som forblir i vertslandet for repossesseringen og potensielt kan brukes til våpenformål. Uran og plutonium som skilles ut gjennom en repossessering er likevel ikke rent nok til å kunne brukes i fremstillingen av kjernekraftvåpen, men benyttes som MOX-brensel i elektrisitetsproduksjon. Frankrike er på samme måte som Norge bundet av den internasjonale ikke-spredningsavtalen og plikter å sikre at avfallet ikke kan komme i uvedkommendes hender. Frankrike har heller ikke anledning til å benytte produktene som fremstilles fra det sivile anlegget i La Hague til egen våpenproduksjon. Det oppbevares store mengder plutonium og uran i forbindelse med repossesseringen anlegget i Frankrike. Det er derfor betydelige sikringstiltak som beskytter avfallet og myndighetene gjennomfører jevnlig tilsyn for å etterse sikringstiltakene til enhver tid. Kontroll med uran og plutonium er underlagt IAEA/EURATOMs Safeguard for sikring.

Utslipp av radioaktivitet til nærmiljøet ved anlegget: Det har vært mye negativ fokus særlig på repossesseringsanlegget i Sellafield, Storbritannia, som har hatt flere tilsiktede utslipp av radioaktivitet til miljøet. Utslippene fra anlegget i Sellafield er redusert betydelig de senere årene.

Det har ikke vært tilsvarende utslipp fra reprosesseringsanlegget i La Hague, Frankrike, og anlegget er strengt regulert og overvåket. Studier viser at anlegget i La Hague medfører en minimal miljøpåvirkning; referansegruppen utsettes for 10 mikrosievert årlig fra La Hague, mens bakgrunnsstrålingen i snitt i Frankrike er om lag 2 400 mikrosievert. I normalsituasjonen er dermed miljø- og helsevirkningene knyttet til reprosesseringsvirksomheten ignorerbare.

Risiko for ulykke ved anlegget: Store mengder flytende høyaktivt radioaktivt materiale lagres på kjøletanker ved anleggene som en del av reprosesseringsprosessen. Sikkerhetstiltakene er tilsvarende svært omfattende. Hvis en større ulykke eller terroraksjon skulle inntreffe tilknyttet disse tankene vil det kunne medføre betydelige utslipp til omgivelsene. Det har likevel aldri vært alvorlige ulykkeshendelser knyttet til driften av anlegget¹². Det gjennomføres årlig om lag 60 myndighetstilsyn, hvorav 10-15 uanmeldte. La Hague gjennomfører årlig 32 000 analyser i sitt miljøovervåkningsprogram. Anlegget er ISO-sertifisert. En ulykke vil ikke være mer eller mindre alvorlig dersom det norske avfallet skulle være repossessert på anlegget, siden volumet er så lite.

Kvalitetssikrer vurderer det slik at de potensielle negative konsekvensene ved reposessering er svært små og at risikoen for både terrorisme, utslipp og ulykke knyttet til det norske avfallet vil være mindre dersom Norges avfall sendes til en kommersiell aktør for reposessering, som det franske anlegget, enn dersom avfallet oppbevares på lager i Norge som i dag. Det vurderes også som sikrere og mer kostnadseffektivt å benytte etablerte anlegg for reposessering enn å utvikle et nytt anlegg i Norge som vil kreve omfattende komptanseoppbygging i Norge.

6.10.2. Mellomlagring

Mellomlagring i beholdere anses i dag som den beste og billigste formen for mellomlagring av brukt brensel, når nye lagere skal etableres. Dette innebærer at avfallet lagres tørt i stedet for vått i basseng, som fortsatt er vanlig mange steder.

Det er trolig mest hensiktsmessig å velge beholdere som kan brukes både til transport og til lagring, såkalte transportable lagringsbeholdere. Man trenger da ikke egne beholdere til transport når avfallet skal fraktes til mellomlager og fra mellomlager til endelig deponi, og man sparer mye fordi man slipper håndteringen knyttet til ompakking av avfallet i en slik prosess.

Det finnes ulike typer transportable beholdere, og hvilken beholder som er mest hensiktsmessig å velge avhenger av avfallstypene. Man kan velge å begrense antall beholdere ved å velge store enheter, men disse enhetene vil da være vanskeligere å håndtere og vil kunne kreve investeringer i håndteringsutstyr i mellomlageret. Alternativt kan man kjøpe et større antall mindre beholdere som kan håndteres med enkelt og mobilt utstyr.

Den enkelte beholder vil ha en ytre og en indre beholder. Den indre beholderen kan tenkes å måtte spesialdesignes til hver enkelt avfallstype. Fordi Norge har flere forskjellige typer avfall, også brensel av samme sort finnes i ulike pakninger og dimensjoner, kan dette innebære at det er mest hensiktsmessig at det designes ulike beholdere til de ulike pakningstypene av brukt brensel. Noen typer beholdere er allerede lisensiert i Norge, men trolig vil andre typer beholdere være mer hensiktsmessige og disse vil da måtte lisensieres og godkjennes til bruk i Norge. Hvilke typer beholdere som er mest hensiktsmessig for det norske avfallet vil avhenge av en detaljert gjennomgang av de ulike avfallstypene og avgjøres i samarbeid med leverandør av beholdere.

Det er kun et fåtall leverandører som produserer slike beholdere. Det er vanligvis en bestillingstid på 3-5 år på slike beholdere og prosessen må derfor startes i god tid før behovet for lagerkapasitet inntreffer.

¹² <http://www.french-nuclear-safety.fr/Media/Files/INES-Scale-for-rating-nuclear-incidents-and-accidents>

Når brukt brensel ligger i slike beholdere er det sikret mot jordskjelv, flystyrt, flodbølge osv, og man trenger i utgangspunktet ikke videre beskyttelse av beholderne annet enn fysisk sikring for å unngå at avfallet ikke kommer på avveie. Det vil likevel trolig være hensiktsmessig å oppbevare beholderne i et lagerbygg eller fjellanlegg, hvor man også har nødvendig utstyr for å håndtere beholderne. I tillegg kreves tilstrekkelig fysisk sikring med vakthold for å sikre at uvedkommende ikke får tak i avfallet.

Figur 6-3 Ulike typer transportable lagringsbeholdere



Kilder: Areva, Zwiilag og Nuclear Regulatory Commision

6.10.3. Dypdeponi

Ingen land i verden har etablert deponi for langlivet radioaktivt avfall. De som har kommet lengst er Finland og Sverige, som bygger hvert sitt geologiske dypdeponi etter samme teknologi. Metoden kalles KBS-3.

Det etableres en tilkomsttunnel 450-500 meter ned under bakken. På dette nivået etableres det tunneler der det etableres tørre brønner, og i disse brønnene settes det ned kobberkapsler inneholdende det radioaktive avfallet. Det fylles opp med bentonitt rundt denne kapslen. Når en tunnel er fylt opp, fylles denne helt igjen med bentonitt og stenmasser, og avfall plasseres videre i tilstøtende tunneler.

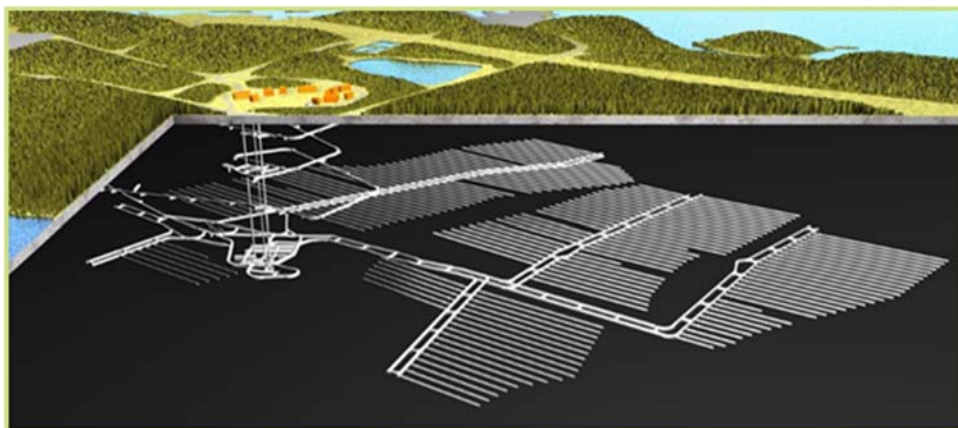
Etter hvert som alle tunneler er fylt opp, fylles også tilførselstunnelen igjen. Anlegget er da forseglet. Alle installasjoner på bakkenivå (anlegg for å fylle avfall i kapsler, lukke disse, og klargjøring av transport ned i deponiet) rives, slik at det ikke finnes noen spor etter virksomheten. Det vil ikke være noen form for vakthold eller målinger i området etter forsegling.

I Finland begynte planleggingen av dypdeponiet på slutten av 1970-tallet. Fra og med 80-tallet ble det gjennomført undersøkelser av aktuelle steder for deponiet. I 2001 ble det fattet beslutning om sted, og etter det er det arbeidet med å fremskaffe lisens for anlegget, samt bygging av tilførselstunnelen og forskningslaboratorium. I 2015 ble lisens gitt, og byggingen starter for fullt i 2016. Anlegget ventes å åpnes på starten av 2020-tallet, og er tenkt holdt åpent i 100 år før det forsegles og fraflyttes.

I Sverige har planleggingsperioden vært noe lenger, med oppstart på starten av 1970-tallet. Svenskene har enda ikke fått sin lisens, men arbeidet er i en slutfase. Det kan forventes at anlegget vil åpne rundt 2030. Svenskene planlegger for 40-års drift av anlegget.

Det finske anlegget er estimert til å koste drøyt 30 milliarder norske kroner, inkludert planlegging, bygging, drift og forsegling. De har bygget på teknologien som er utviklet i Sverige. Det svenske anlegget er estimert til å koste drøyt 80 milliarder norske kroner, inkludert planlegging, bygging, drift og forsegling. Det svenske anlegget er om lag en halv gang større enn det finske.

Figur 6-4 Illustrasjonsbilde av det planlagte dypdeponiet i Onkalo, Finland



Kilde: Posiva

6.11. Konsepter som videreføres fra mulighetsstudien - sammenlignet med KVV-en

Hovedforskjellen mellom mulighetsrommet som beskrives i KVV-en og mulighetsrommet vi definerer, er at vi legger til grunn at det må etableres et deponi for alle avfallstyper innen utgangen av analyseperioden. KVV-en anser det som en gyldig mulighet at vitrifisert avfall fra repressering og annet langlivet avfall flyttes fra lager til lager til «evig tid».

I tillegg til dette går vi noe lenger i å detaljere mulighetene for stabilisering, og vi detaljerer også avfallstypene i noe større grad enn KVV-en. Dette gir slik vi ser det økt sikkerhet for at strategien som velges faktisk er gyldig for det samlede avfallsvolum.

KVV-en har ikke vist hvordan de ulike mulighetene forholder seg til kravene. Det blir derfor noe uklart hvorfor enkelte muligheter siles bort i mulighetsstudien. Dette gir likevel ingen særlig virkning for den videre analyse, da de muligheter som tas med til alternativanalysen i stor grad er tilsvarende som de muligheter som vi tar med i våre alternativer.

Alternativene som videreføres i KVV-en skiller seg likevel fra våre alternativer på noen områder. Tabellen under sammenstiller de videreførte alternativer i KVV og KS1, med en kort kommentar om forskjellene. I Neste kapittel presenteres innholdet i alternativene i KS1-analysen nærmere.

KVV-ens alternativer		KS1-alternativer		Viktigste forskjeller
0	Ingen stabilisering av noe brensel. Fortsatt lagring på dagens lokasjoner. Bygge nye KLDRA.	0	Ingen stabilisering av noe brensel. Fortsatt lagring på dagens lokasjoner. Bygge nye KLDRA.	Ingen forskjell.
1	Ingen stabilisering av noe brensel. Etablering av nytt mellomlager. Bygge nye KLDRA.	I	Repressering kun metallisk brensel. Ompakking av aluminiumskapslet brensel. Mellomlager i beholdere. Etablere dypdeponi. Bygge nye KLDRA.	I KS1 stabiliseres det ustabile brensel og dypdeponi etableres.
2	Repressering alt ustabilt brensel. Etablering av nytt mellomlager. Bygge dypdeponi. Bygge nye KLDRA.	II	Repressering alt ustabilt brensel. Mellomlager i beholdere. Etablere dypdeponi. Bygge nye KLDRA.	Ingen konseptuelle forskjeller.
3	Repressering alt ustabilt brensel. Etablering av nytt mellomlager. Få tilgang til			I KS1 er alternativet inntatt som opsjoner i de andre tiltaksalternativene.

KVU-ens alternativer		KS1-alternativer		Viktigste forskjeller
	dypdeponi i utlandet. Bygge nye KLDRA.			
4	Reprosessering alt brensel. Mellomlagre vitrifisert avfall fra reprosessering i KLDRA. Bygge nye KLDRA.	IV	Reprosessering alt brensel. Mellomlager i beholdere. Etablere dypdeponi. Bygge nye KLDRA.	I KS1 etableres mellomlager og dypdeponi.

7. Alternativer i alternativanalysen

I kvalitetssikrers alternativanalyse er innholdet i alternativene justert noe i forhold til KVVU-ens alternativanalyse, for å ta hensyn til at det i alle tiltaksalternativer anses å være behov for stabilisering av ustabilt avfall, mellomlager og deponi for langlivet avfall. I dette kapittelet presenteres innholdet i alternativene i kvalitetssikrers alternativanalyse.

Kvalitetssikrer har kostnadsberegnet løsninger som er velutprøvde og som tilfredstiller de høye krav som stilles til sikker deponering. Videre har vi lagt til grunn at de skal oppfylle nasjonale og internasjonale lover. Det haster med å finne en sikker løsning for det metalliske brenselet. Dette tilsier at velutprøvde løsninger som kan gi raskere gjennomføring er å foretrekke.

Hvis det i årene fremover verifiseres nye alternative teknologier som borehull eller mellomdypt deponi, eller ulike former for internasjonalt samarbeid kan dette bli attraktive løsninger for Norge. Disse er ikke kostnadsberegnet, men omtales som mulige opsjoner.

7.1. Ulike scenario for videre drift av reaktorene

Kvalitetssikrer vurderer to ulike scenarioer for videre drift av reaktorene, og viderefører her KVVU-ens scenario beta, tidlig nedstengning av begge reaktorer, og KVVU-ens scenario alfa, langsiktig drift av begge reaktorer.

I scenarioet med tidlig nedstengning antar vi at begge reaktorene stenges i år 2020. I scenarioet med langsiktig drift legger vi likevel til grunn at de stenger ned mot slutten av analyseperioden på 100 år, slik at avfallsproduksjonen opphører og et endelig dypdeponi kan forsegles innen analyseperiodens utgang. Man kan da også utsette planleggingen av et dypdeponi, slik at det ikke står klart før mot slutten av analyseperioden. I analysen for scenario med sen nedstengning er det lagt til grunn at reaktorene stenger ned i år 2100.

KVVU-en gjennomfører i tillegg analysen for et kombinert scenario, scenario gamma, hvor en av reaktorene antas nedstengt på et tidlig tidspunkt mens den andre driftes videre mot slutten av analyseperioden. Kvalitetssikrer utelater dette scenarioet fordi det betraktes som et kombinasjonsalternativ og at resultatene fra et slikt alternativ kan utledes som en kombinasjon av resultatene fra analysen for scenarioene alfa og beta.

I KVVU-ens analyse er tidspunkt for nedstengning av reaktorene satt til 2018 ved tidlig nedstengning og etter 2115 ved sen nedstengning.

Tidspunkt for nedstengning av reaktorene avgjør de totale avfallsmengdene. I et scenario med fortsatt drift er det lagt til grunn at fremtidig avfallsproduksjon er på dagens nivå, hvilket innebærer en produksjon av brukt aluminiumskapslet oksidbrensel fra Kjeller på 45 kg og brukt zirkoniumkapslet brensel fra Halden på 80 kg per år. I dette scenarioet med stabilisering av det aluminiumskapslede oksidbrenselet gjennomføres i to omganger. Det vil ikke være hensiktsmessig å holde et dypdeponi åpent i mange år i påvente av at reaktorene stenger ned og produksjonen av brukt brensel opphører og det legges derfor til grunn at man i et scenario med fortsatt drift utsetter byggingen av et dypdeponi slik at det først står klart når alt avfall er klart til å deponeres. En utsatt etablering av dypdeponi medfører også at mellomlageret videreføres i lengre tid, i påvente av at dypdeponiet står klart, og dermed økte kostnader til drift, vedlikehold og overvåking av mellomlageret.

Figur 7-1 Tidslinje for scenarioene alfa (sen nedstengning) og beta (tidlig nedstengning)



7.2. Kvalitetssikrers alternativer

I det følgende beskriver vi tiltakene som er lagt til grunn i alternativene som vurderes i analysen. Kvalitetssikrer viderefører KVVU-ens nullalternativ, med uendret innhold. I tillegg presenteres tre tiltaksalternativer, som er satt sammen med utgangspunkt i KVVU-ens alternativ 1,2 og 4, men justert for behov for stabilisering, mellomlager og deponi til langlivet avfall i alle tiltaksalternativene. Kvalitetssikrers tiltaksalternativer er alternativ I Minimal reposessering, alternativ II Reprosessere alt ustabil og alternativ IV Full reposessering. Tiltaksalternativene skiller hovedsakelig på grad av reposessering. I alternativ I sendes kun det metalliske brenselet til reposessering, i alternativ II sendes alt ustabil til reposessering og i alternativ IV sendes alt brukt brensel til reposessering. Innholdet i de ulike alternativene oppsummeres i Tabell 7-1.

Resultatene fra KVVU-ens analyse viser at det lønner seg å lagre avfallet på så få lokasjoner som mulig for å spare overvåkningskostnader. I scenario med tidlig nedstengning av begge reaktorer legger kvalitetssikrer derfor til grunn i alle tiltaksalternativer at brukt brensel og annet høyaktivt avfall samles i ett mellomlager. I scenario med sen nedstengning vil de av dagens lagre som er i forsvarlig stand videreføres på de to lokasjonene, mens den nødvendige kapasitetsutvidelsen utover eksisterende lagre vil legges til en av de to lokasjonene. Kvalitetssikrer tar ikke stilling til hvor et slikt mellomlager skal plasseres, men i kostnadsanslagene er det lagt til grunn at mellomlagerer opprettes på en av IFEs eksisterende lokasjoner på Kjeller eller i Halden. Dette er for at man kan dra nytte av både de eksisterende lagrene og stordriftsfordeler knyttet til infrastruktur, sikring, overvåkning og drift. Ved å legge mellomlageret til en av de eksisterende lokasjoner forenkler man også planleggingen av et slikt lager, som kan tenkes å bli både langvarig og komplisert dersom en helt ny lokasjon skal utredes.

Kostnadene som er lagt inn til mellomlager reflekterer kostnaden for å lage et nytt mellomlager som en utvidelse av tunnel 2 i Halden, som anbefalt av Stranden-utvalget, eller et lagerbygg. Kostnadene for dette er av Strandenutvalget vurdert som forholdsvis like, derfor skiller det ikke på dette. I tillegg vil det måtte investeres i nye transportable lagringsbeholdere (såkalt «dual-purpose casks») for alt brensel som ikke får plass i eksisterende lagre.

Det kan også tenkes stordriftsfordeler ved samlokalisering av mellomlager og et eventuelt nytt radavfallsanlegg. I scenario med sen nedstengning av reaktorene er det lagt til grunn at radavfallsanlegget videreføres med dagens lokasjon på Kjeller. I scenario med tidlig nedstengning er det lagt til grunn dekommisjonering på Kjeller og at radavfallsanlegget derfor legges til en ny lokasjon. Investeringskostnadene for å bygge nytt radavfallsanlegg er da tatt som en kostnad i den parallelle analysen for dekommisjonering av anleggene. Driftskostnadene for radavfallsanlegget er likevel inkludert i denne analysen for oppbevaring av radioaktivt avfall. Det er lagt til grunn at radavfallsanlegget må bære sine fulle kostnader til fysisk sikring og overvåkning og at driftskostnadene derfor ikke avhenger av en samlokalisering med mellomlageret.

I alle alternativene vil det være behov for utvidet kapasitet til deponering av lav- og mellomaktivt avfall fordi KLDRA i Himdalen ventes å gå fullt i nær fremtid. Tidspunktet for når det går fullt avhenger av tidspunkt for dekommisjonering. I alle alternativer er det lagt til grunn at det bygges nytt KLDRA på ny lokasjon når dagens anlegg i Himdalen går fullt.

I scenarioet med videre drift av begge reaktorer vil lagrene for brukt brensel bli fulle om få år. Med dagens produksjon av brukt brensel vurderes lagrene på Kjeller å bli fulle i år 2029 og lagrene i Halden å bli fulle i år 2020. Dersom avfall midlertidig overføres fra Halden til Kjeller vil disse lagrene samlet holde til 2022. Deretter må det bygges større lagerbygg på begge lokasjoner og kjøpes inn flere lagringsbeholdere for den løpende produksjonen av brukt brensel.

Tabell 7-1 Beskrivelse av kvalitetssikrers alternativer

	 Stabilisering	 Mellomlager	 Deponi
Nullalternativet	Ingen stabilisering	Ompakking av metallisk brensel Etablere nye mellomlagre i Halden og på Kjeller	Ingen tilgang til dypdeponi Etablere nytt KLDRA
Alternativ I – Minimal reprosessering	Reprosessere metallisk brensel, HLW i retur, ikke uran/plutonium i retur Omkapsle aluminiumskapslet brensel Fysisk stabilisere thorium o.l.	Etablere mellomlager i Norge – beholdere i Halden eller på Kjeller. Benyttes i påvente av deponi	Skaffe tilgang til dypdeponi – kostnadsberegnet som å bygge i Norge etter svensk/finsk-modell Etablere nytt KLDRA
Alternativ II – Reprosessere alt ustabilt	Reprosessere metallisk og aluminiumskapslet brensel, HLW i retur, ikke uran/plutonium i retur Fysisk stabilisere thorium o.l.	Etablere mellomlager i Norge – beholdere i Halden eller på Kjeller. Benyttes i påvente av deponi	Skaffe tilgang til dypdeponi – kostnadsberegnet som å bygge i Norge etter svensk/finsk-modell Etablere nytt KLDRA
Alternativ IV	Reprosessere alt brensel, HLW i retur, ikke uran/plutonium i retur Fysisk stabilisere thorium o.l.	Etablere mellomlager i Norge – beholdere i Halden eller på Kjeller. Benyttes i påvente av deponi	Skaffe tilgang til dypdeponi – kostnadsberegnet som å bygge i Norge etter svensk/finsk-modell Etablere nytt KLDRA

7.2.1. Nullalternativet

Nullalternativet skal innebære en videreføring av dagens situasjon. Kvalitetssikrers tilsvarer KVVU-ens nullalternativ i de to scenarioene konseptuelt, men kostnadene vil likevel være noe ulike fordi selvstendige beregninger av kostnadene er lagt til grunn. Det er lagt til grunn fortsatt lagring av brukt brensel på Kjeller og i Halden, med gjenbruk av eksisterende lagre så langt det er mulig.

Foreløpige undersøkelser tyder på at det har forekommet hydrattutvikling på det metalliske brenselet og at dagens lagringsbeholdere ikke er helt tette. Dette medfører en økt fare for at avfall kan lekket ut i omgivelsene. Det vil trolig bli nødvendig å behandle disse skadene ved å fjerne hydrattene fra brenselet. IFE er allerede i gang med en prosess hvor de tar opp alt dette brenselet og undersøker det. Resultatene fra undersøkelsene vil vise hvorvidt det er behov for behandling og nye lagere, eller om avfallet kan legges tilbake til eksisterende lagre. Dette må gjøres i alle alternativer. I nullalternativet er det uansett behov for nytt

lager til metallisk brensel, fordi dagens lagre ikke kan betraktes som forsvarlige på lang sikt. Det er lagt til grunn at det kjøpes inn nye transportable lagringsbeholdere (beholdere som kan brukes både for transport og lagring, såkalte «dual-purpose casks») og at brenselet lagres med inertgass for å redusere sjansen for hydratutvikling. Det bygges et mindre lagerbygg på hver lokasjon for å lagre disse beholderne.

Oksidbrenselet lagres videre i dagens lagre. Nullalternativet innebærer fortsatt drift, overvåkning og sikring av det lagrede avfallet på begge lokasjonene.

Det aluminiumskapslede oksidbrenselet antas fortsatt lagret i dagens lagre uten noen videre behandling. Dette vil være trygt så lenge brenselet overvåkes i et lager. Det er kun før en endelig deponering at det aluminiumskapslede oksidbrenselet må stabiliseres.

Nullalternativet innebærer ingen stabilisering av ustabilt radioaktivt avfall.

Fordi avfallet fortsatt skal lagres på begge lokasjoner kan det ikke gjennomføres en full dekommisjonering av de nukleære anleggene i nullalternativet. Det legges til grunn at kun prosessutstyr og reaktordeler dekommisjoneres, tilsvarende alternativet for fortsatt nukleær drift i KVV-en for dekommisjonering.

Annet radioaktivt avfall utover brukt brensel lagres videre på dagens lokasjoner med en videreføring av dagens sikringsnivå. Det er lagt inn nye deponi for lav- og mellomaktivt avfall (KLDRA) når dagens anlegg i Halden går fullt.

Tabell 7-2: Beskrivelse av tiltak i nullalternativet

Tiltak	Beskrivelse
Hydratbehandling av metallisk brukt brensel med inertgass (gjøres i alle alternativer)	IFE er allerede i gang med å ta opp det metalliske brenselet og undersøke dets tilstand. Tidlige undersøkelser tyder på større hydratutvikling enn tidligere antatt. Det er ikke forsvarlig å la dette brenselet ligge i nåværende stand. I alle alternativer, inkludert nullalternativet, skal derfor alt metallisk brensel undersøkes og behandles for hydrater.
Innkjøp av nye lagringsbeholdere for metallisk brukt brensel	Dersom metallisk brukt brensel ikke sendes til repressering behøves nye lagringsbeholdere for dette etter at det er undersøkt og behandlet (mobile lagringsbeholdere). Dagens lagre for metallisk brensel er ikke tilfredsstillende.
Investeringer i nye lagerbygg på Kjeller og i Halden	Det må bygges et mindre lagerbygg på hver lokasjon for å lagre beholderne med metallisk brukt brensel.
Investeringer i nye lagringsbeholdere for oksidbrensel ved fortsatt drift av reaktorene	Med dagens produksjonsnivå vil lagrene for oksidbrensel gå fulle rundt år 2022 (gitt en omdisponering av avfall mellom lokasjonene, lagrene blir fulle noe før i Halden og senere på Kjeller). Det behøves da større lagerbygg og flere lagringsbeholdere («dual-purpose casks»).
Dekommisjonering til nivå for fortsatt nukleær drift	Fjerning av prosessutstyr og reaktordeler.

7.2.2. Tiltaksalternativene

I alle tiltaksalternativer er det lagt til grunn stabilisering av ustabilt langlivet avfall, mellomlager for brukt brensel, nytt deponi for lav- og mellomaktivt avfall (KLDRA) og dypdeponi for langlivet avfall. Følgende forutsetninger gjelder for alle de tre tiltaksalternativene.

Det legges til grunn at begge anleggene dekommisjoneres umiddelbart etter nedstengning av reaktorene. Kostnadene til dekommisjonering er ikke inntatt i denne analysen, men er beregnet i Kvalitetssikring av Dekommisjonering av nukleære anlegg. I scenario med tidlig nedstengning har vi lagt til grunn at en av

lokasjonene huser mellomlageret og denne lokasjonen vil kun dekommisjonere så store områder som mulig uten at man risikerer å måtte dekommisjonere noen områder på nytt når mellomlageret senere skal dekommisjoneres. Det er lagt til grunn at dette tilsvarer dekommisjonering til nivå 1c til annen nukleær virksomhet, som beskrevet i Kvalitetssikring av Dekommisjonering av nukleære anlegg.

I scenario med tidlig nedstengning forutsettes det at dagens lagre, de som er i forsvarlig stand, brukes videre på lokasjonen som huser mellomlageret. Brenselet som flyttes fra den andre lokasjonen legges over i transportable lagringsbeholdere for oppbevaring i mellomlageret. Mellomlageret vil kun driftes frem til dypdeponiet står ferdig. I scenarioet med sen nedstengning av begge reaktorene vil i tillegg dagens lagre gå fulle i nær fremtid, og kapasiteten på mellomlageret må økes tilsvarende den løpende avfallsproduksjonen. Dette innebærer et noe større lager og flere mobile lagringsbeholdere. Mellomlageret vil også måtte driftes over flere år, fordi dypdeponiet først vil stå klart mot slutten av analyseperioden.

Det må i alle tiltaksalternativer etableres et dypdeponi for endelig deponering av vitifisert avfall i retur fra repossessering, eventuelt brukt brensel som ikke reposseseres og annet langlivet avfall, inkludert uranprodukter, thoriumstaver og overskuddsmateriale fra reaktordriften. I kostnadsanslagene er det lagt til grunn et dypdeponi av svensk/finsk modell, som er den eneste løsninger i verden i dag som har fått tillatelse av egne myndigheter. Planleggingen av et slikt dypdeponi antas å ta lang tid, anslagsvis 30-40 år. Dersom det underveis kommer andre teknologiske løsninger som anses som bedre og/eller billigere, bør man imidlertid vurdere disse. I scenario med tidlig nedstengning legges det til grunn at planleggingen av dypdeponi starter i nær fremtid. I scenario med sen nedstengning trenger man ikke tilgang til dypdeponi før avfallsproduksjonen har stoppet mot slutten av analyseperioden og planleggingen av deponiet trenger da heller ikke starte før en 40-års periode innen det skal stå klart.

Når avfallet til slutt skal deponeres kan det fraktes til deponiet i de samme beholderne. Her vil det overføres fra lagringsbeholderne til kobberrør, som blir omsluttet av bentonitt i deponiet. Dette tilsvarer den svenske løsningen for dypdeponi. Det vitrifiserte avfallet som kommer tilbake fra repossessering (en glassbeholder a 1,34 meter høyde og 43 cm diameter, i alle tiltaksalternativer) oppbevares i mellomlageret i en mobil beholder før det også legges i kobberrør og deponeres i dypdeponiet, på samme måte som direkteponert brensel.

Annet radioaktivt avfall som ikke kan deponeres i KLDRA, inkludert brennelsrester, radiumnåler, uranprodukter og thorium, deponeres i dypdeponiet sammen med det brukte brenselet. Thoriumsstavene og andre avfallstyper som ikke kan direkteponeres stabiliseres før deponering ved å blandes ut i betong. Denne prosessen gjøres enklest i forbindelse med dekommisjoneringsprosessen.

7.2.2.1. Alternativ I: Minimal repossessering

Kvalitetssikrer legger til grunn at det metalliske brenselet må stabiliseres så fort som mulig. I dag er det repossessering som er et velutprøvd og kommersielt tilgjengelig løsningsalternativ. Fortsatt lagring av denne avfallstypen anbefales ikke, grunnet den dårlige tilstanden i dagens lagre og at brenselet er selvantennelig ved kontakt med luft. I alternativ I minimeres mengden avfall som sendes til repossessering, noe som kun innebærer repossessering av det metalliske brenselet. Dette må imidlertid gjøres så fort som mulig og det legges til grunn at prosessen for å få dette til startes opp umiddelbart.

Videre vil det aluminiumskapslede oksidbrenselet stabiliseres gjennom en omkapslingsprosess ved IFE. Eksisterende kapsling fjernes og erstattes med kapsling av et materiale som gjør brenselet mer stabilt. Denne prosessen er etter kvalitetssikrers kjennskap ikke gjennomført tidligere i verden og det krever både nytt prosessutstyr og utvikling av konkrete teknologiske løsninger for gjennomføringen. I kostnadsanslagene er det lagt inn midler til teknologiutvikling hos IFE.

I påvente av at et dypdeponi står klart behøves et mellomlager for brukt oksidbrensel.

7.2.2.2. Alternativ II: Reprosessere alt ustabilt brukt brensel

Kvalitetssikrers alternativ I er tilsvarende KVVU-ens alternativ 2. I dette alternativet sendes metallisk brensel og oksidbrenselet med aluminiumskapsling til repressering, og det etableres mellomlager og dypdeponi. Kapasitetsbehovet i mellomlageret vil være noe mindre i alternativ II enn i alternativ I, fordi noe mer avfall er sendt til repressering. I dypdeponiet deponeres zirkoniumkapslet oksidbrensel direkte, vitrifisert avfall i retur fra repressering (anslagsvis 1 glassbeholder) og annet langlivet avfall.

I scenarioet med tidlig nedstengning av reaktorene sendes avfallet som skal represseres samlet til represseringsanlegget så fort som mulig etter nedstengning av reaktorene og etter nødvendig nedkjølingstid.

I scenarioet med fortsatt drift av reaktorene vil avfallet sendes til repressering i to omganger. Første omgang vil sendes så fort det lar seg gjøre, grunnet den dårlige tilstanden til det metalliske brenselet. I denne omgangen inkluderes alt brukt brensel som er produsert og tilstrekkelig nedkjølt til tidspunktet for første forsendelse. Andre omgang til repressering antas å sendes når reaktorene i sin tid er stengt og produksjonen av brukt brensel har opphørt, slik at man ikke behøver å sende avfall til repressering i mer enn to omganger.

Et mellomlager må opprettes i påvente av at et dypdeponi står klart i begge scenario, men i scenario med tidlig nedstengning vil mellomlageret driftes i en kortere periode fordi dypdeponiet står klart langt tidligere.

7.2.2.3. Alternativ IV: Full repressering

Kvalitetssikrers alternativ IV tilsvarer KVVU-ens alternativ 4, hvor alt brukt brensel sendes til repressering i utlandet. Kvalitetssikrer legger i tillegg til grunn at det i dette alternativet må bygges et endelig deponi for det vitrifiserte avfallet som kommer i retur fra repressering, samt annet radioaktivt avfall som ikke kan deponeres i Himdalen. Det er noe mildere krav til sikkerhetstiltak ved håndtering av vitrifisert avfall sammenlignet med brukt brensel, fordi dette ikke inneholder uran eller plutonium som kan komme på avveie. I tillegg vil håndteringen av avfallet være noe enklere fordi avfallet da kun kommer i en type beholder, mens det brukte brenselet opprinnelig er i en mengde ulike former og dimensjoner. Likevel vil det stilles lignende krav til utformingen og sikringen av selve dypdeponiet.

I scenarioet med tidlig nedstengning av reaktorene vil alt brukt brensel sendes til repressering så fort som mulig etter nedstengning. Når det vitrifiserte avfallet kommer i retur etter repressering, anslagsvis 10-15 år etter at det er sendt, må det opprettes et mellomlager til dette avfallet i påvente av at dypdeponi står klart. Det vitrifiserte avfallet vil da oppbevares i en transportabel lagringsbeholder i mellomlageret.

I scenarioet med sen nedstengning vil det brukte brenselet sendes til repressering i to omganger, på samme måte som i alternativ II. Også i dette scenarioet må det opprettes et mellomlager for det vitrifiserte avfallet som kommer i retur fra repressering og for den løpende avfallsproduksjonen på det tidspunktet når dagens lagre på de to lokasjonene går fulle. Dette vil skje på et noe senere tidspunkt enn i de andre alternativene, fordi alle eksisterende lagre vil tømmes helt når avfallet sendes til repressering i første omgang.

7.3. Alternativenes måloppfyllelse

Alle kvalitetssikrers tiltaksalternativer oppfyller målet om en forsvarlig oppbevaring av avfallet på kort og lang sikt. Videre innebærer alle tiltaksalternativene en endelig løsning for alle ulike typer radioaktivt avfall i løpet av analyseperioden og oppfyller dermed målet om å ikke skyve avfallshåndteringen over til senere generasjoner. Dette krever et dypdeponi for endelig deponering av brukt brensel, eller avfallet som kommer i retur fra repressering av dette, og annet langlivet avfall. På dette punktet er dermed alle tiltaksalternativene konseptuelt bedre enn nullalternativet, som innebærer å overføre avfallshåndteringen til fremtidige generasjoner utover analyseperioden på 100 år. Likevel er det forskjell mellom scenarioene i tidspunktet for opprydningen. I et scenario med fortsatt drift av reaktorene vil likevel deponi for langlivet avfall

først etableres mot slutten av analyseperioden på 100 år og tiltaksalternativene i dette scenarioet har derfor en dårlige måloppnåelse på dette punktet. Jo tidligere man starter planlegging av et dypdeponi, desto større grad oppfylles målet om å ikke utsette problematikken til senere generasjoner.

Alle kvalitetssikrers tiltaksalternativer oppfyller også målene om en forsvarlig håndtering av avfallet, ved at det metalliske brenselet stabiliseres gjennom reprosessering i alle tiltaksalternativer. Nullalternativet anses ikke å oppfylle målet om forsvarlig langsiktig løsning for dette brenselet.

8. Kostnads- og usikkerhetsanalyse

Vi beskriver i dette kapitlet hvilke justeringer som har blitt foretatt av KVV-ens basiskalkyler, hvilke usikkerhetsvurderinger vi har gjort for hvert konsept samt presentasjon av resultater. Usikkerhetsanalysen er beskrevet i detalj i vedlegg 2.

8.1. Basiskalkyler

Tabellene 8-1, 8-2 og 8-3 nedenfor viser basiskalkylene for scenariene og alternativene som ble brukt i KVV. Tabell 8.4 viser basiskalkylen som er benyttet i scenario sen nedstengning i KS1.

Tabell 8-1 - Basiskalkyle Scenario Alfa KVV [Mill. NOK]

	Ref. alt	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 4
Totalkostnad	1 530	2 200	2 600	1 730
Investeringer	280	490	780	0
Behandling av brensel	20	30	330	480

Tabell 8-2 – Basiskalkyle Scenario Beta KVV [Mill. NOK]

	Ref. alt	Alt. 1a	Alt. 1b	Alt. 1c	Alt. 2	Alt. 4
Totalkostnad	1 800	1 360	1 220	1 230	1 860	750
Investeringer	270	440	290	360	1 050	30
Behandling av brensel	20	30	20	20	320	460

Tabell 8-3 – Basiskalkyle Scenario Gamma KVV [Mill. NOK]

	Ref. alt	Alt. 1a	Alt. 1c	Alt. 2	Alt. 4
Totalkostnad	1 540	1 680	1 130	2 280	1 240
Investeringer	290	450	380	940	20
Behandling av brensel	20	30	20	340	490

8.1.1. Kvalitetssikrers kostnadselementer

Kostnadselementene i kvalitetssikrers usikkerhetsanalyse er delt inn i kategorier etter hvilken hovedkategori de tilhører. Alternativene varierer mest i hvilke hovedkategorier av kostnader som inngår, men det er også enkelte forskjeller mellom alternativene innad i hovedkategoriene. Denne variasjonen er vist i Tabell 8-4 under.

Basiskostnadene tar utgangspunkt i dagens avfallsmengder, men i kostnads- og usikkerhetsmodellen er kostnadene skalert forskjellig i de ulike alternativene.

Tabell 8-4: Basiskalkyler scenario med sen nedstengning [Mill. NOK]

	Alt. 0	Alt. I	Alt. II	Alt. IV
Tidligfase				
Planlegging tidligfase	-	25,0	25,0	25,0
Reprosessering				
Planleggingsarbeid før reprosessering	-	20,0	40,0	40,0
Bilateral avtale	-	10,0	20,0	20,0
Behandling av metallisk brensel	60,0	60,0	60,0	60,0
Transport inkl. leie av transportbeholdere	-	832,3	1 248,5	2 122,4
Reprosesseringskostnad fra Areva	-	776,8	1 206,9	2 122,4
Fysisk kondisjonering - Thorium				
Innstøping i betong	-	120,0	120,0	120,0
Forberedende arbeider deponering				
Disposal Canisters brukt brensel	-	140,0	90,0	-
Disposal Canisters vitrifisert avfall	-	10,0	10,0	10,0
Ompakking til canisters	-	60,0	90,0	90,0
Transport	-	20,0	30,0	30,0
Fjerning av aluminiumskledning	-	100,0	-	-
Mellomlager - bygning eller tunnel				
Lagerbygg eller tunnel inkl. prosjekteringskostnad	188,0	141,0	94,0	47,0
Dual Purpose Casks - Enhetspris	1 005,0	585,0	435,0	165,0
Dual Purpose Casks - Faste kostnader	100,0	100,0	100,0	100,0
Dekommisjonering av mellomlager	-	10,0	10,0	10,0
Nytt KLDRA				
Planlegging	150,0	150,0	150,0	150,0
Bygging	300,0	300,0	300,0	300,0
Forsegling	20,0	20,0	20,0	20,0
Infrastruktur sikkerhet	10,0	10,0	10,0	10,0
Dypdeponi				
Planlegging	-	2 359,6	2 359,6	2 359,6
Bygging	-	3 461,5	3 461,5	3 288,4
Forsegling	-	1 038,4	1 038,4	1 038,4
Sum	1 833,0	10 349,7	10 918,9	12 128,3

8.2. Kvalitetssikrers usikkerhetsanalyse

8.2.1. Forutsetninger for usikkerhetsanalysen

Usikkerhetsanalysen innbefatter kun investeringskostnader, driftskostnader medtas i samfunnsøkonomisk analyse.

- Analysen tar ikke hensyn til større premissendringer.
- Valutausikkerhet er ikke vurdert i analysen. Denne vil være betydelig da den blir realisert langt frem i tid, men den er ikke medtatt i analysen da det vurderes at modellering av valutausikkerhet vil være basert på en rekke forutsetninger, og vil ikke endre rangering av konseptvalgene.
- Usikkerhetsanalysen er gjennomført eks. mva.
- Hendelser med liten sannsynlighet og store konsekvenser (ekstremhendelser) medtas ikke.
- Prisnivå for analysen: 2016
- Fremdriftsusikkerhet er ikke vurdert, men analysen reflekterer to ulike hovedscenarier (tidlig versus sen nedstenging av reaktorene).
- Finansieringskostnader er ikke medtatt i usikkerhetsanalysen.
- Bevilgningsusikkerhet er ikke medtatt.

For ytterligere informasjon om analysen, se vedlegg 2.

8.2.2. Prosess og metodisk tilnærming

I arbeidet med basiskalkylen og usikkerhetsanalysen ble det gjennomført en todagers fellessamling. Her ble usikkerhetsbildet i prosjektet, slik det presenteres i KVVU-en, gjennomgått av KS1-teamet. I tillegg til KS1-teamet var også nukleær ekspertise fra Atkins Energy, representanter fra IFE og de som har vært involvert i KVVU-arbeidet tilstede.

Arbeidet med usikkerhetsanalysen har skjedd iterativt som en følge av at enkelte relevante kostnadsestimater først ble tilgjengelig sent i oppdraget. Dette gjelder spesielt kostnadsestimater knyttet til sentrale poster i kalkylen; repressering, oppbevaringsbeholdere og dypdeponi.

Kostnadsestimatene som kom KS1-teamet i hende i etterkant av fellessamlingen har senere blitt gjennomgått sammen med ekspertisen i Atkins Energy.

8.2.3. Resultater fra usikkerhetsanalysen

En oppsummering av resultatene fra kvalitetssikrers usikkerhetsanalyse er vist i Tabell 8-5 nedenfor. Her ser man at alternativ IV er det dyreste alternativet i begge scenariene, mens 0-alternativet er klart billigst. Alternativ II er KS1-rapportens anbefalte alternativ, dette er markert med grått.

Tabell 8-5: Resultater fra kvalitetssikrers usikkerhetsanalyse eks. mva. [Mill. NOK]

	Sen nedstengning				Tidlig nedstengning			
	Alt. 0	Alt. I	Alt. II	Alt. IV	Alt. 0	Alt. I	Alt. II	Alt. IV
Basis	1 833	10 350	10 919	12 128	1 094	9 803	9 913	10 378
Forventningsverdi	2 280	13 050	13 730	15 490	1 360	12 690	12 750	13 260
10 %	1 340	5 470	5 890	6 630	830	6 070	6 170	6 530
15 %	1 480	6 620	7 040	7 970	910	6 940	7 160	7 530
50 %	2 220	12 350	13 160	14 590	1 330	12 100	12 060	12 550
85 %	3 080	19 630	20 550	23 120	1 820	18 390	18 580	19 300
90 %	3 310	21 650	22 510	25 630	1 950	20 170	20 190	20 900
Standardavvik	33 %	48 %	47 %	48 %	32 %	43 %	43 %	42 %
Sannsynlighet for Basis	31 %	37 %	37 %	36 %	29 %	34 %	34 %	34 %

9. Kvalitetssikrers samfunnsøkonomiske analyse

I henhold til rammeavtalen skal kvalitetssikrer foreta en selvstendig samfunnsøkonomisk analyse. Vår samfunnsøkonomiske analyse er presentert i dette kapittelet. Det vises for øvrig til vedlegg 3 «Samfunnsøkonomisk analyse» for en mer detaljert gjennomgang.

9.1. Metode og forutsetninger

Kvalitetssikrers samfunnsøkonomiske analyse er gjennomført i henhold til prinsippene i Direktoratet for økonomistyrings «Veileder i samfunnsøkonomiske analyser». Dette innebærer i hovedsak at det foretas en nytte-kostnadsanalyse der;

- Alle investeringskonsepter sammenlignes med basissituasjonen dersom intet gjøres (nullalternativet).
- Effekter, inkludert eksternaliteter, verdsettes i kroner så langt dette er hensiktsmessig.
- Prissatte virkninger vurderes etter nåverdimetoden. Det benyttes forventningsverdier for alle virkninger.
- Effekter som ikke er egnet til å verdsettes i kroner beskrives kvalitativt.
- Viktige fordelingsvirkninger drøftes, og prissettes hvis hensiktsmessig.
- Finansieringskostnader, inkludert skattekostnader, og konsekvenser for offentlige budsjetter vises.

Relevante forutsetninger, samt ytterligere detaljer om metoden, beskrives i teksten der dette er naturlig. Nytte-kostnadsanalysen er kjernen i den samfunnsøkonomiske analysen.

I tabellen under er de viktigste forutsetningene for den samfunnsøkonomiske analysen presentert. Som det fremgår av tabellen, har vi endret på enkelte av forutsetningene fra KVVU-en.

Tabell 9-1: Skjematisk oversikt over forutsetninger i KVVU og KS1

Forutsetning	KVVU	KS1
Sammenligningsår	2014	2016
Diskonteringsrente	4 %, 3 %, 2 %	4 %, 3 %, 2 %
Analyseperiode	100 år	100 år
Investeringsperiode	Varierer	Varierer
Prisnivå	2014-kroner	2016-kroner
Realprisjustering	Lønn, 1,6 %	Lønn, 1,3 %, 0,98 %, 0,65 %, 0 %
Restverdi	Medtatt der det er relevant	Medtatt der det er relevant

KVVU-en gjennomfører realprisjustering av lønnskostnader, for å hensynta at lønn utvikler seg annerledes enn konsumprisindeksen. Dette er i henhold til Finansdepartementets rundskriv R-109/2014. Vi har benyttet en årlig vekst på 1,3 %, i henhold til fremskrivningene av BNP per innbygger i siste perspektivmelding. En slik prisjustering over en meget lang periode vil gi svært høye kostnader. I virkeligheten vil en slik utvikling bli motvirket av en teknologisk utvikling, der arbeidskraft erstattes av teknologi, nettopp som en følge av de høye arbeidskostnadene. Etter kvalitetssikrers syn blir det derfor misvisende å legge til grunn en realprisvekst på arbeidskraft i all fremtid. Vi har i analysen valgt å redusere realprisjusteringen i takt med diskonteringsrenten, slik at lønnskostnader økes med 1,3 % årlig første 40 år, deretter med 0,98 % årlig de neste 35 år, og så med 0,65 % årlig frem til år 100. Deretter har vi ikke lagt til grunn noen realprisjustering.

Som i KVV-en har kvalitetssikrer lagt til grunn at markedsprisene som benyttes for investerings- og driftskostnader representerer de samfunnsøkonomiske kostnadene. Det er ikke medtatt merverdiavgift, men arbeidsgiveravgift og sosiale kostnader er inkludert i lønnskostnadene.

I analysen av ikke-prissatte virkninger har vi benyttet den såkalte pluss-minusmetoden, der virkningene vurderes utfra betydning og omfang som samlet gir virkninger.

9.2. Prissatte virkninger

De prissatte virkningene verdsettes etter nåverdimetoden. Dette innebærer at nytte, inntekter og kostnader som oppstår i ulike år i analyseperioden diskonteres ned til et gitt år, kalt «sammenligningsåret». Som inngangsdata i analysen inngår forventningsverdiene for investeringskostnadene fra usikkerhetsanalysen.

I de prissatte virkningene i den samfunnsøkonomiske analysen inntas også driftskostnader (se vedlegg 3 for nærmere beskrivelser). Driftskostnadene knytter seg særlig til lagring av det brukte brenselet, herunder overvåkning av mellomlagret, men også til drift av KLDRA og Radavfallsanlegget. I KS1-analysen er det i alle alternativer lagt til grunn at det etableres ett nytt mellomlager. Resultatene av analysen, målt som nåverdien av netto nytte, er vist i tabellen under.

Tabell 9-2 Prissatte virkninger i KS1, som netto nåverdi

NNV Mill. NOK	Alternativ	Planlegging og administrasjon	Stabili- sering	Mellom- lagring	Deponi	Totalt
Stans 2020	0	0	0	-2070	-1100	-3170
	I Minimal reprosessering	-170	-2100	-1080	-4980	-8340
	II Reprosesser alt ustabilt	-170	-2280	-990	-4940	-8380
	IV Full reprosessering	-170	-3160	-550	-4820	-8700
Stans 2100	0	0	0	-3520	-1060	-4580
	I Minimal reprosessering	-220	-1870	-2700	-2090	-6880
	II Reprosesser alt ustabilt	-220	-2270	-2350	-2060	-6890
	IV Full reprosessering	-220	-3360	-2100	-2050	-7730

I KVV-en er det i stor grad avveiningen mellom høye investeringskostnader for stabilisering av det brukte brenselet, eller høye overvåkningskostnader ved fortsatt lagring som er skillelinjene mellom alternativene. Alternativ 4 – Reprosessering innebærer ikke kostnader til overvåkning, drift og vedlikehold av en ny oppbevaringsløsning overhodet. På den annen side innebærer alternativ 1, med samlagring enten på ny lokasjon, i Halden eller på Kjeller, lavere investeringskostnader enn reprosessering og deponering. Sistnevnte besparelse er imidlertid ikke stor nok til å gjøre samlagingsalternativene mer lønnsomme enn reprosessering.

I alternativene som er analysert i KS1 er det imidlertid forutsatt at mange av aktivitetene må gjennomføres i alle tiltaksalternativer. Dette innebærer at alle ustabile avfallstyper stabiliseres for å klargjøres for deponering og at det etableres deponi til alle avfallstyper. Alle tiltaksalternativer i KS1 er av denne grunn mer kostbare enn alternativene i KVV. I referansealternativet etableres det ikke deponi. Dette alternativet er derfor vesentlig billigere enn alle tiltaksalternativene i KS1 når det gjelder prissatte virkninger, men referansealternativet løser heller ikke de langsiktige prosjektutløsende behovene.

For tiltaksalternativene i KS1 (alternativ I, II og IV) er kostnadene til stabilisering, mellomlagring og deponering store. I alternativ I sendes den minste mengden brukt brensel til repressering. Derfor er kostnaden for stabilisering minst i dette alternativet. Mellomlagerkostnadene blir desto større, fordi det må investeres i flere transportable lagringsbeholdere. I alternativ II og IV gjenfinnes den samme sammenhengen mellom mengde brukt brensel sendt til repressering; her er kostnaden for repressering større, og kostnaden for mellomlagring mindre. Kostnaden for deponi er ganske lik på tvers av alternativene.

Referansealternativet kommer i begge scenarioer for drift av reaktorene best ut på prissatte virkninger, men representerer ikke noen varig løsning av problemet, og er beheftet med betydelige ikke-kvantifiserbare negative virkninger som vist i avsnittene om ikke-prissatte virkninger.

Nullalternativet kommer betydelig bedre ut enn alle tiltaksalternativene når vi ser på de prissatte effektene alene. Det er fordi nullalternativet ikke innebærer en sluttløsning for langlivet avfall, men kun viderefører dagens lagringssituasjon. De mest kostnadsdrivende tiltakene i tiltaksalternativene er stabilisering av ustabil avfall og etablering av dypdeponi. Disse tiltakene vil uansett måtte gjennomføres en eller annen gang dersom man skal følge internasjonale konvensjoner og IAEAs anbefalinger om deponering av brukt brensel, og nullalternativet innebærer dermed at disse kostnadene må tas på et senere tidspunkt.

Det er relativt små forskjeller mellom tiltaksalternativene når vi ser på de prissatte effektene. Alternativ I med minimal repressering og alternativ II med delvis repressering kommer tilnærmet likt ut, mens alternativ IV med full repressering fremkommer som noe dyrere. Usikkerheten rundt estimatene er imidlertid stor. Hvilket alternativ som er best på de prissatte virkningene vil avhenge av prisforhandlinger med leverandør av represseringstjenester.

9.2.1. Sammenligning mellom KVVU og KS1 prissatte effekter

Tabell 9-3 viser en sammenstilling av kostnadselementer for hvert alternativ i henholdsvis KVVU og KS1. Usikkerheten i estimatene er jevnt over betydelig. Mindre forskjeller mellom forventningsverdiene bør derfor tillegges begrenset vekt.

Tabell 9-3: Kostnader for delkomponenter i alternativene, ved tidlig nedstengning (Mill. NOK, prisenivå KVVU: 2014, KS1: 2016)

Millioner NOK, forventnings-verdi investering	Planlegging		Stabilisering		Mellomlagring		Deponering (Inkl. KLDRA)		Totalt	
	KVVU	KS1	KVVU	KS1	KVVU	KS1	KVVU	KS1	KVVU	KS1
0	0	0	0	0	370	760	550	600	920	1 360
1a/I	0	35	0	2 330	670	460	560	9 880	1 230	12 690
2/II	0	35	470	2 570	400	370	2 250	9 780	3 120	12 750
4/IV	0	35	690	3 650	80	150	600	9 410	1 370	13 260

NB: På grunn av avrundning summerer ikke kolonnene seg nøyaktig til total.

Som beskrevet i kapittel 7 er det enkelte forskjeller mellom innholdet i alternativene i KVVU og KS1. Dette gir, sammen med ulikheter i de beregnede kostnadene for elementer i alternativene, ulike resultater fra KVVU til KS1. For å tydeliggjøre forskjellene vil vi først gjenta ulikhetene mellom alternativene i KVVU og KS1, deretter vises det hvordan forskjellene kommer til uttrykk i resultatene.

Endringer i alternativene fra KVVU til KS1

Kvalitetssikrers referansealternativ innebærer i likhet med KVVU-ens referansealternativ at alt brukt brensel mellomlagres for all overskuelig fremtid. Det forutsettes at det metalliske brenselet behandles for potensielt oppståtte skader og forebyggelse av nye skader, og flyttes over i transportable lagringsbeholdere. Det er

antatt at lagringsbeholderne har en levetid på 40 år (gjelder for alle alternativer), slik at disse må erstattes etter denne tiden. Det bygges et enkelt lagerbygg på hver lokasjon for å huse beholderne.

Alternativ 1 i KVVU-en innebærer bygging av et nytt sentralt lager, med nye lagerbeholdere for det ustabile brukte brenselet. I kvalitetssikrers alternativanalyse er det forutsatt at alle tiltaksalternativer skal ende opp med deponering av avfallet, derfor innebærer alternativ I i KS1-rapporten at det metalliske brenselet reposseseres. Det aluminiumskapslede oksidbrenselet antas å kunne omkapsles slik at dette kan deponeres. Deretter mellomlagres brenselet frem til deponi står klart.

Alternativ 2 i KVVU-en og alternativ II i KS1-rapporten er konseptuelt like. Begge innebærer at alt ustabil (metallisk og aluminiumskapslet brensel) reposseseres, gjenværende brensel mellomlagres videre, før brukt brensel og vitrifisert avfall deponeres i et dypdeponi.

Alternativ 4 i KVVU-en og IV i KS1 forutsetter begge at alt brukt brensel reposseseres. Etter at vitrifisert avfall er mottatt i retur gjør KVVU-en en antakelse om at dette avfallet kan oppbevares i et fremtidig KLDRA. Deponering i et slikt anlegg vil ikke være mulig, derfor må det vitrifiserte avfallet forflyttes videre til nyetablerte KLDRA til evig tid. Det er ikke beregnet ekstra kostnader til overvåkning av dette avfallet utover det som kreves for å overvåke KLDRA Himdalen i dag. Investeringskostnadene for et KLDRA hvor høyaktivt vitrifisert avfall kan oppbevares er imidlertid økt sammenliknet med kostnadene for KLDRA Himdalen.

I KS1 er evig mellomlagring ikke ansett som en gyldig løsning, verken for vitrifisert avfall eller for andre langlivede avfallsprodukter, og det er derfor inkludert investeringskostnader for et deponi som endelig oppbevaringsløsning for disse avfallstypene. Siden avfallet er like høyaktivt som det brukte brenselet er prosessen for utredning av deponiet og kostnadene for bygging lignende som om det var brukt brensel som ble deponert. Kostnadene for bygging og krav til infrastrukturen i deponiet er imidlertid senket noe som følge av at avfallsmengdene er mindre og mer enhetlige. Før deponiet står klart må det vitrifiserte avfallet mellomlagres.

Dersom alt brukt brensel reposseseres og returneres som mellomaktivt avfall (ILW), kan det i fremtiden tenkes at det utvikles løsninger for deponering av denne typen avfall som er mindre kostnadskrevenne enn å bygge et dypdeponi etter KBS3-modellen. Dette er ikke lagt til grunn i KS1, men er en mulighet som bør følges i det videre arbeidet.

Endringer i kostnadsanslag fra KVVU til KS1

For noen kostnadselementer er det store forskjeller mellom de investeringskostnadene som er beregnet i KVVU-en og de som er beregnet av kvalitetssikrer. Dette skyldes både at alternativene i noen grad har ulikt innhold, men også betydelige endringer i anslagene for basiskostnader, særlig knyttet til repossessering og bygging av dypdeponi. De viktigste endringene i beregningene av spesifikke kostnadsmomenter i KS1 er i knyttet til:

Økt anslag på kostnader for repossessering.

- KVVU-en baserer sine beregninger på pristilbud fra Mayak-anlegget i Russland fra 2009, oppjustert til dagens kostnadsnivå. I KS1 er prisantydning fra Arevas repossesseringsanlegg i Frankrike fra 2016 istedet brukt som grunnlag.

Ulikt behov for mellomlager

- Fordi det vil ta noe tid fra avfallet returneres fra repossessering til dypdeponi står ferdig, beregner KS1 et behov for investering i mellomlager i alle alternativer. I KVVU-en varierer behovet for mellomlager i større grad mellom alternativene.
- I KS1 inkluderer driftskostnadene i mellomlager kostnader til håndtering av brukt brensel fra det kommer ut av de kortvarige lagrene nær reaktor. KVVU-ens driftskostnader inkluderer en mindre

andel av håndteringskostnadene, trolig ved at flere av disse kostnadene antas å bæres av avfallsprodusenten.

Økt anslag på kostnader for dypdeponi

- I KVV-en er prisanslaget for etablering av dypdeponi basert på beregnede byggekostnader av de antatte løsningene. I KS1 er kostnadene for dypdeponi basert på estimater fra eksempelet som er nærmest realisering, dypdeponiet på Olkiluoto i Finland.

9.2.2. Følsomhetsanalyser av kvalitetssikrers prissatte virkninger

Vi har gjennomført følsomhetsanalyser av de prissatte virkningen. Formålet er å se hvordan de prissatte virkningene endres dersom sentrale forutsetninger endres i analysen. Det er gjort vurderinger av hvordan de prissatte effektene påvirkes dersom:

- Tidspunkt for etablering av dypdeponi forskyves
- Forutsetninger om reallønnsvekst endres
- Diskonteringsrenten som benyttes for å beregne netto nåverdi endres
- Driftskostnadene øker

Utsatt etablering av dypdeponi

På grunn av diskonteringsfaktoren kan forskjøvet etablering av dypdeponi ha stor innvirkning på kostnadene for tiltaksalternativene. Fordi tidspunkt for bygging av deponi i utgangspunktet er det samme for alle alternativer, og investeringskostnaden i alle tiltaksalternativ er om lag lik, vil ikke rangeringen påvirkes av at denne forutsetningen endres. Følsomhetsanalysen synliggjør imidlertid at en utsettelse av dypdeponi vil fremstå som bedre på de prissatte effektene fordi kostnadene neddiskonteres over flere år og nåverdien av kostnaden derfor blir lavere. En utsettelse vil imidlertid ikke bare utsette kostnadene ved dypdeponi, men nytteeffektene vil da også komme på et senere tidspunkt. Nytteeffektene av dypdeponi, som består av en forsvarlig oppbevaring av avfallet i langsiktig perspektiv og at fremtidige generasjoner ikke belastes, er ikke prissatt i denne analysen, og dersom disse utsettes vil nytteverdien også reduseres på samme måte som kostnadene i netto nåverdi. En utsettelse av dypdeponi kan derfor ikke forsvares basert på diskonteringseffekten alene, men kan tenkes begrunnet dersom det finnes konkrete muligheter for svært kostnadsbesparende ny teknologi eller muligheter for internasjonalt samarbeid som forventes å oppstå i nær fremtid.

Endrede antakelser om reallønnsvekst

For å vise hvilken betydning forutsetningen om reallønnsvekst har for resultatene har vi gjennomført følsomhetsanalyser for endrede forutsetninger om denne. Detaljene om disse analysene finnes i vedlegg 3. Hovedanalysen er gjennomført med en antakelse om 1,3 % reallønnsvekst de første 40 år, deretter 0,98 % de neste 35 år, deretter 0,65 % de neste 25 år og ingen reallønnsvekst fra og med år 100. Vi har undersøkt effekten av en jevn og høyere lønnsvekst som i KVV-en på 1,6 % årlig, og av å ikke anta noen reallønnsvekst overhodet. Endringene har effekt på størrelsen av de totale kostnadene ved alternativene, men ikke for rangeringen mellom alternativene.

På grunn av den lange analyseperioden antar vi også at reallønnsveksten har innvirkning på investeringskostnadene, og ikke bare på driftskostnadene. 50 % av investeringskostnadene er antatt å utgjøre lønnskostnader og er derfor pålagt reallønnsvekst. Vi har sett på konsekvensene ved å fjerne denne antakelsen. Ingen realprisvekst på investeringer gjør disse relativt billigere jo lenger inn i fremtiden de foretas, derfor blir alternativene med relativt mer investeringskostnader mer lønnsomme. I scenarioet med drift av reaktorene frem til 2100 endres rangeringen slik at alternativ II med reprosessering av alt ustabilt brensel kommer best ut på prissatte virkninger. Ved nedstengning i 2020 er rangeringen uendret.

Endrede antakelser om diskonteringsrente

I analysen av prissatte virkninger har vi benyttet diskonteringsrenten som spesifisert i Finansdepartementets rundskriv R-109/2014. Dette innebærer en diskonteringsrate som er fallende over tid, på 4 % de første 40 år av analyseperioden, deretter 3 % de neste 35 år og deretter 2 % i alle påfølgende år. Andre antakelser om diskonteringsrenten vil påvirke resultatene. I miljøøkonomiske fagdiskusjoner om lønnsomheten av klimatiltak i et langsiktig perspektiv har diskonteringsrenten vært et stort tema. Ytterpunktene kan oppsummeres ved Sterns forslag om diskonteringsrate på 1,3 % og Nordhaus' forslag om diskonteringsrate på 5,5 %, begge fra 2007.¹³ Problematikken knyttet til oppbevaring av radioaktivt avfall har flere av de samme aspektene som problematikken rundt klimatiltak, ved at begge innebærer kostnadskrevende tiltak som vil gi miljøgevinster i et svært langsiktig perspektiv. Vi har derfor gjort følsomhetsanalyser med utgangspunkt i de to nevnte ytterpunktene for foreslåtte diskonteringsrater for samfunnsøkonomiske analyser av klimatiltak.

Analysen av alternativer for oppbevaring av radioaktivt avfall kjennetegnes imidlertid ved at det kun er de rene investerings- og driftskostnadene knyttet til tiltakene som er prissatt. Nytteeffektene av tiltakene er ikke prissatt. Derfor vil endrede antakelser om diskonteringsrate ha ensartede virkninger på resultatene, ved at en redusert diskonteringsrente gir høyere kostnader i nåverdi og en høyere diskonteringsrate motsatt gir lavere kostnader i nåverdi. Rangeringen mellom alternativene påvirkes derfor ikke. Det eneste som kan påvirke rangeringen mellom alternativene er dersom investerings- og kostnadsprofilene er ulike, med kostnader som kommer senere i et alternativ, mot kostnader tidligere i et annet. Vi har likevel gjort en følsomhetsanalyse for å tydeliggjøre hvordan de prissatte effektene påvirkes av nivået på diskonteringsraten. I følsomhetsanalysene viser det seg at en høyere diskonteringsrate (5,5 prosent) gjør alternativ II noe billigere enn alternativ I i scenarioet hvor reaktorene legges ned i 2100. For øvrig er rangeringen uendret. I vedlegg 3 finnes detaljene for disse følsomhetsanalysene.

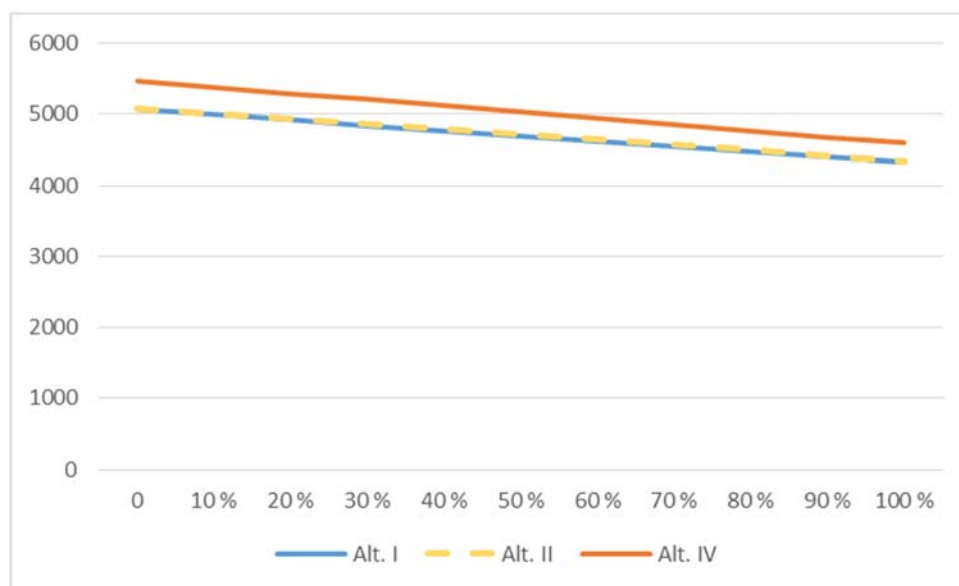
Endrede driftskostnader

Omfanget av driftskostnader for overvåking, sikring og vedlikehold av mellomlager varierer mellom alternativene. Ved å legge andre antakelser om driftskostnadene til grunn kunne det tenkes at rangeringen basert på prissatte virkninger ble endret.

Følsomhetsanalysen er gjennomført ved å se på hvilken konsekvens en prosentvis økning i drifts- og overvåkningskostnadene ved mellomlagring av brukt brensel vil ha for rangeringen av alternativer. Figur 9-1 viser effektene av en slik endring i scenarioet med tidlig nedstengning, hvor kostnadene er presentert som de samlede prissatte (neddiskonterte) kostnadene sammenlignet med nullalternativet (kostnader er her presentert som positive tall). Ingen av alternativene blir billigere (krysser linjen ved 0) enn nullalternativet for endringene som er gjennomført i denne følsomhetsanalysen. En 6-dobling av overvåkningskostnadene er nødvendig for at noe alternativ skal fremstå som bedre enn nullalternativet på de prissatte virkningene. Rangeringen mellom tiltaksalternativene endres heller ikke med en dobling av driftskostnadene. Rangeringen av alternativene avhenger dermed ikke av endrede antakelser om driftskostnadene. Ytterligere detaljer finnes i vedlegg 3.

¹³ Se NOU 2012:16 Samfunnsøkonomiske analyser

Figur 9-1: Sensitivitet ved en prosentvis økning i driftskostnader, stans 2020. Mill. NOK (2016) samlet prissatt virkning relativt til nullalternativet



9.3. Ikke-prissatte virkninger

Basert på kartleggingen av behov, mål og krav, samt en vurdering av ikke-intenderte virkninger av tiltaket, fremkommer følgende seks ikke-prissatte virkninger:

- Redusert risiko for skadelige virkninger for befolkningen helse
- Redusert risiko for skadelige virkninger for natur og miljø
- Styrket samfunnssikkerhet
- Redusert verdi av nærområder
- Opplevd trygghet hos befolkningen
- Styrket internasjonalt omdømme

De ikke-prissatte virkningene er vurdert hver for seg, etter hvilken samfunnsbetydning de har, og hvor stort omfang virkningen vil ha i hvert enkelt konsept. Kombinasjonen av betydning og omfang gir konsekvens, og vi benytter en 11-delt skala for å angi konsekvensen. Fem plusstegn (+++++) angir en svært positiv konsekvens relativt til nullalternativet, 0 angir at konsekvensen er tilsvarende som for nullalternativet, mens fem minustegn (-----) angir en svært negativ konsekvens relativt til nullalternativet.

9.3.1. Redusert risiko for skadelige virkninger for befolkningen helse

Radioaktivt stråling i store doser kan være livsfarlig. Også i mindre doser kan radioaktivitet være sykdomsfremkallende, med forkortet levetid som følge.

I normalsituasjonen behandles og oppbevares alt radioaktivt avfall på en måte som sikrer at hverken ansatte på anleggene eller befolkningen generelt utsettes for skadelige stråledoser. Det er således først ved en ulykke at helseskader vil kunne oppstå. Sannsynligheten for slike ulykker er svært lav, også i dagens situasjon. Statens strålevern fører tilsyn med anleggene, og alle rutiner og planverk ettergås og godkjennes.

Likevel vil det alltid være en restrisiko for en ulykkeshendelse så lenge avfallet lagres, med medførende krav til overvåking, drift og sikring. Denne risikoen vil reduseres til å bli tilnærmet lik null dersom avfallet er lagt i et forseglet deponi. I dagens situasjon er det i tillegg enkelte utfordringer knyttet til lagringsforholdene av det metalliske brenselet. En stabilisering av det metalliske avfallet, samt etablering av nytt deponi, vil derfor

redusere risikoen for en ulykkeshendelse noe. Dette til tross for at selve flyttingen av avfallet isolert sett vil kunne gi økt risiko for en uønsket hendelse.

I samfunnsøkonomiske analyser medtas som hovedregel ikke hendelser som inntreffer med svært lav sannsynlighet. Samtidig understrekes det i NOU 2012:16 at føre var-prinsippet bør legges til grunn der det er risiko for irreversible virkninger og eller katastrofer. Etter vårt syn vil det være riktig å vektlegge selv en begrenset reduksjon i sannsynlighet for en ulykkeshendelse som utsetter befolkningen for radioaktiv stråling. Betydningen av skadevirkninger for befolkningens helse må anses å være stor.

Totalt sett anser vi at alle tiltaksalternativene vil medføre en liten reduksjon i ulykkesrisikoen ved at brukt brensel deponeres og det metalliske brenselet stabiliseres. Dette medfører et lite, men positivt omfang. I vår ellevedelte skala vil dette gi +++ for alternativ I Minimal reprosessering.

Alternativ II og alternativ IV medfører i tillegg en redusert ulykkesrisiko i forhold til alternativ I ved at det aluminiumskapslede oksidbrenselet stabiliseres i et rutinert reprosesseringsanlegg i stedet for at det utvikles en egen metode for dette spesifikt ved IFE. Alternativ II med reprosessering også av det aluminiumskapslede avfallet innebærer derfor en forbedring som i vår modell representeres med +++(+).

Full reprosessering vil gi en ytterligere reduksjon i ulykkesrisikoen, fordi alt avfallet fra brukt brensel vil bli enhetlig og lettere håndterbart, noe som vil redusere risikoen for menneskelig feil ved håndteringen. Vitrifisert avfall, som vi får i retur fra reprosessering, vil i tillegg ha en ekstra barriere mot utslipp ved at det leveres i glassform. Dette reduserer sjansen for at radioaktivitet lekker ut i miljøet fra et deponi og skader befolkningens helse. Alternativ IV med full reprosessering innebærer en ytterligere forbedring, her synliggjort ved virkningen ++++ i vår modell.

I scenarioet med sen nedstengning av reaktorene etableres et deponi på et noe senere tidspunkt og det samlede volum av brensel er større enn ved tidlig nedstengning. Vi anser likevel ikke at dette endrer risikoen for ulykke tilstrekkelig til at effektene vurderes ulikt i de to scenarioene.

9.3.2. Redusert risiko for skadelige virkninger for natur og miljø

Radioaktive stoffer som spres i naturen kan tas opp i næringskjeden og medføre store skader i økosystemene, på dyr, planter og samspillet mellom organismene. I tillegg kan dette igjen skade menneskers helse dersom vi spiser dyr og planter med radioaktivitet.

Risikoen for ulykker knyttet til behandling og oppbevaring av norsk radioaktivt avfall er svært liten, slik det er beskrevet i kapittelet over. Føre var-prinsippet tilsier likevel at selv en liten reduksjon i denne ulykkesrisikoen bør tillegges vekt. Vi har derfor i utgangspunktet behandlet virkningen for natur og miljø på samme måte som virkningen for befolkningens helse.

I tillegg til virkningen som følger av en eventuell ulykke, må det her også hensyntas virkninger for miljøet som følger av reprosessering. Reprosessering gir noen uunngåelige utslipp av radioaktivt materiale til luft og vann. Alle alternativer der reprosessering inngår, gir således noe økte miljøskader. Samtidig er det viktig å bemerke at utslippene fra reprosessering er blitt betydelig redusert i den senere tid.

Reprosesseringsanlegget i La Hague, Frankrike, gir i følge selskapet selv en strålevirkning på mindre enn 10 mikrosievert for de menneskene som er mest eksponert for utslipp fra anlegget¹⁴. Den naturlige bakgrunnsstrålingen i området gir til sammenligning en effekt på 2 400 mikrosievert. Disse utslippene kan derfor ikke sies å medføre merkbare miljøskader. En reprosessering av norsk avfall i La Hague vil utgjøre mindre enn en prosent av det årlige volumet. Utslippene som følger av dette er så marginale at det ikke kan tillegges vekt i vurderingen av skadelige virkninger på natur og miljø.

¹⁴ <http://www.aveva.com/EN/operations-1186/balance-impact-on-humans-of-aveva-la-hague-activities.html>

9.3.3. Styrket samfunnssikkerhet

Radioaktivt avfall kan i ytterste instans tenkes å bli brukt i terroristangrep. Det er i følge NATO svært liten sjanse for at terrorister skal kunne utvikle en atombombe, dersom de skulle få tak i brukt brensel eller Uran/Plutonium fra reprosesseringen, grunnet høye kostnader og lite tilgjengelig teknologi.¹⁵ Det er imidlertid en mer reell sjanse for at terrorister skal kunne bruke radioaktivt avfall til å lage en såkalt «skitten bombe».

En detonasjon av en skitten bombe vil i liten grad medføre fare for menneskers helse og miljø gjennom spredning av radioaktivitet, utover den direkte sprengningsskaden som vil oppstå uavhengig av radioaktiviteten. Likevel vil det at bomben er tilsatt radioaktivt materiale medføre at man må undersøke store arealer og fjerne eventuelle spor av radioaktivitet, som vil kunne kreve at et betydelig område må avspærres over lang tid. En slik situasjon vil kunne skape frykt i befolkningen. Dette vil ha negative konsekvenser for økonomi og velferd.

God fysisk sikring av det radioaktive avfallet er avgjørende for å forhindre at radioaktivt materiale kommer på avveie. Derfor er det betydelige sikkerhetsforanstaltninger der det oppbevares radioaktivt avfall. Det er kommet enkelte kritiske bemerkninger fra IAEA knyttet til sikkerheten på Kjeller¹⁶. I både nullalternativet og tiltaksalternativene er det derfor lagt opp til økt sikring. Etablering av deponi for brukt brensel og annet langlivet radioaktivt avfall, med tilhørende sikkerhetsforanstaltninger, må kunne anses å øke sikkerheten ytterligere fra nullalternativet.

Risikoen for at radioaktivt avfall kommer på avveie er svært lav i nullalternativet, og antas å bli enda lavere i alle tiltaksalternativene. Fordi det har det svært stor betydning for samfunnet at vi er sikret mot terroristangrep, verdsettes den lille reduksjonen av risikoen i tiltaksalternativene som +++.

9.3.4. Redusert verdi av nærområder

Inngrep i naturen som eventuelt følger ved en etablering av mellomlager og deponi vil kunne påvirke befolkningens bruk av området, og dermed nytteverdien av området. Et fullskala dypdeponi lignende den svenske løsningen vil medføre et betydelig inngrep i naturen, mens en borehullsløsning for deponi kan gi noe mindre inngrep. Under testing og bygging vil det uansett bli omfattende byggeaktivitet, som vil forstyrre eventuelt dyreliv og friluftsliv i området. Denne virkningen vil først og fremst treffe dem som bor nært ved nyoppførte anlegg.

Når lagrene flyttes fra Kjeller og Halden vil det i teorien kunne gi en økt verdi av disse områdene. Siden alternativ bruk av anleggene på Kjeller og i Halden høyst sannsynlig er fortsatt nukleær virksomhet eller annen næringsvirksomhet, er det likevel lite trolig at denne positive virkningen vil være av betydelig størrelse.

Vi legger likevel til grunn at et mellomlager og eller et dypdeponi vil gi noen naturinngrep som oppleves som negative av noen brukere av området, men at omfanget er lite. Dette gjelder likt for alle alternativer og begge scenarier, da det er de samme anleggenes som oppføres.

9.3.5. Opplevd trygghet hos befolkningen

I tillegg til de faktiske skadevirkninger av en ulykke knyttet til behandling og oppbevaring av radioaktivt avfall, er det viktig at befolkningen føler seg trygg på at avfallet til enhver tid håndteres på en sikker måte. Dersom folk opplever en frykt for ulykker vil dette i seg selv være svært negativt, i tillegg til at det vil kunne redusere verdien av anleggenes nærområder dersom disse blir mindre brukt.

¹⁵ http://www.nato.int/docu/Review/2010/Nuclear_Proliferation/dirty_bomb/EN/index.htm

¹⁶ <http://www.rb.no/nyheter/ife/skedsmo/atomreaktoren-er-ikke-godt-nok-sikret-mot-terror-na-tas-det-grep/s/5-43-158327>

Det er ingenting som tyder på at befolkningen generelt i dag er bevisst risikoen for ulykker knyttet til radioaktivt avfall i Norge. Heller ikke naboene til anleggene i Halden, på Kjeller eller i Himdalen synes å oppleve utrygghet.

Det er derfor lite trolig at etableringen av nytt mellomlager og nytt deponi vil gi økt trygghetsfølelse i befolkningen, selv om den reelle ulykkesrisikoen skulle reduseres noe. Faktisk kan det sannsynliggjøres at trygghetsfølelsen i en periode vil bli redusert. Oppmerksomheten om problemstillingen, som naturlig vil følge av tiltaket, vil i seg selv kunne skape utrygghet hos enkelte. Naboer til et eventuelt oppbevaringsanlegg på et nytt sted vil antagelig bruke noe tid på å bli komfortabel med naboskapet, og i denne perioden vil omkringliggende arealer kunne bli brukt i mindre grad enn tidligere. Vi legger derfor til grunn at alle alternativene i en kortere periode vil gi noe svekket trygghetsfølelse hos deler av befolkningen. Dette gjelder uavhengig av når anlegg etableres, og dermed likt i begge scenarier.

Selv om opplevd utrygghet kan gi reelle virkninger for psykisk helse og velferd, er betydningen av utrygghet mindre enn faktiske skader på helse, natur og miljø. Vi anser at betydningen av denne virkningen er liten, også fordi den antagelig bare virker på kort sikt.

9.3.6. Styrket internasjonalt omdømme

Norges adferd knyttet til behandling og oppbevaring av radioaktivt avfall kan få følger for norsk omdømme i enkelte internasjonale kretser. Nukleære spørsmål følges blant annet tett av miljøbevegelsen, som ved tidligere hendelser i andre samfunnssektorer har skapt negativ oppmerksomhet om norske forhold. Skadevirkningen anses likevel gjerne som kortvarig.

Etableringen av et deponi i Norge vil vise at Norge er i front i verden når det gjelder å følge bestepsaksis for endelig deponering av radioaktivt avfall. Dette vil isolert sett styrke Norges omdømme. Dersom deponiløsningen som realiseres er et samarbeid med annet land, slik at norsk avfall lagres utenfor Norges grenser, kan dette svekke norsk internasjonalt omdømme i enkelte miljøer, fordi en slik beslutning vil kunne anses å «legitimere» dumping av radioaktivt avfall i andre land. Det bør likevel være slik at denne negative effekten er svært begrenset, da et slikt internasjonalt samarbeid høyst sannsynlig vil være mellom to «likestilte land», og sikkerheten i deponiet som velges vil tilfredsstille alle krav.

Kvalitetssikrer mener at det ikke er grunn til å tro at Norges internasjonale omdømme vil påvirkes negativt av et valg om repressering ved et kommersielt anlegg i utlandet.

9.3.7. Ikke-prissatte virkninger oppsummert

Dersom man legger føre var-prinsippet til grunn, er det klart at alle tiltaksalternativene kommer bedre ut enn nullalternativet isolert for de ikke-prissatte virkningene. Dette er fordi redusert risiko for ulykke eller sabotasje er mindre i alle tiltaksalternativene sammenlignet med nullalternativet, som gir positive effekter for befolkningens helse, for natur og miljø og samfunnsikkerhet. Selv om risikoen i utgangspunktet er svært lav, er de negative konsekvensene ved en ulykke så store at selv en liten reduksjon i risikoen bør vektlegges.

Det er i nåværende situasjon usikkert om dagens lagre for metallisk brensel på Kjeller er forsvarlige. IFE har startet en prosess med å undersøke dette brenselet for korrosjonsskader og teste hvorvidt skadene kan ha gitt utslipp til nærmiljøet. Selv om denne prosessen skulle vise at lagrene er forsvarlige per i dag, er de i for dårlig stand til å kunne anses som forsvarlige på lang sikt. Også nullalternativene innebærer derfor at det etableres nye lagre for dette avfallet, som vil gi en forsvarlig lagringssituasjon i en forlenget periode. Metallisk brensel er imidlertid pyrofor (selvantennelig ved kontakt med luft) og reagerer med vann. Aluminiumskapslingen kan i tillegg korrodere ved kontakt med vann. Det vil derfor alltid være en restrisiko inntil brenselet stabiliseres. Når brenselet i tillegg deponeres i et forsegleet dypdeponi reduseres ulykkesrisikoen til et nivå tilnærmet lik null. Stabilisering og deponering av dette avfallet er lagt inn i alle tiltaksalternativene og disse vurderes derfor som betydelig bedre enn nullalternativet på de ikke-prissatte effektene.

Det er noen forskjeller mellom tiltaksalternativene når man ser på de ikke-prissatte effektene. Stabilisering av aluminiumskapslet brensel ved IFE innebærer bruk av en ikke utprøvd metode og gir derfor en noe høyere risiko enn dersom dette avfallet repossesseres i et kommersielt anlegg. Alternativ I Minimal repossessering anses derfor som noe dårligere enn de andre tiltaksalternativene. Dersom alt brukt brensel repossesseres vil alt det brukte brenselet komme i retur som vitrifisert avfall. Dette avfallet er enhetlig og enklere håndterbart, som anses å redusere ulykkesrisikoen ytterligere. I tillegg er det vitrifisert avfallet innkapslet i glass, og glasset innebærer da en ekstra barriere mot utslipp av radioaktivitet til miljøet i deponiet. Alternativ IV Full repossessering er derfor noe bedre enn alternativ II Delvis repossessering på de ikke-prissatte effektene.

Tabell 9-4 Sammenstilling av ikke-prissatte virkninger

	Alternativ	Redusert risiko helse-skader	Redusert risiko miljø-skader	Styrket samfunns-sikkerhet	Redusert verdi av nær-områder	Redusert opplevd trygghet	Styrket inter-nasjonalt omdømme	Rang
Stans 2020	I Minimal repossessering	+++	+++	+++	-	-	+(+)	3
	II Repossesser alt ustabilt	+++(+)	+++(+)	+++	-	-	+(+)	2
	IV Full repossessering	++++	++++	+++	-	-	+(+)	1
Stans 2100	I Minimal repossessering	+++	+++	+++	-	-	+	3
	II Repossesser alt ustabilt	+++(+)	+++(+)	+++	-	-	+	2
	IV Full repossessering	++++	++++	+++	-	-	+	1

Dersom deponiløsningen som realiseres er et samarbeid med annet land, slik at norsk avfall lagres utenfor Norges grenser, blir effekten på Norges internasjonale omdømme vurdert som 0, (-), (-), -.

9.4. Fordelingsvirkninger

I tillegg til prissatte og ikke-prissatte virkninger skal det i samfunnsøkonomiske analyser tas høyde for potensielle fordelingseffekter. Fordelingseffekter er effekter som er positive for noen grupper og negative for andre, men ikke nødvendigvis har en samlet positiv eller negativ verdi for samfunnet som helhet.

En utsettelse av etablering av deponi vil være en fordeling av kostnader fra denne generasjonen, som har skapt avfallet, til kommende generasjoner. Dette er således en fordelingseffekt.

Forurensningsloven bygger på prinsippet om at forurenser skal betale for avfallshåndteringen. Dette innebærer i utvidet forstand at den forurensende generasjon skal betale og at avfallshåndteringen ikke kan skyves videre til fremtidige generasjoner. Kvalitetssikrer understreker viktigheten av å ikke påføre fremtidige generasjoner utilbørlige byrder. I dette tilfellet vurderer vi det derfor slik at det er betydelige negative fordelingseffekter knyttet til null-alternativet, der det ikke etableres deponi.

Også tiltaksalternativene med videre reaktordrift gir noe overføring av kostnader til kommende generasjoner fordi deponiet først etableres mot slutten av hundreårsperioden.

Innad i hvert scenario er det ingen forskjeller i fordelingseffekter mellom tiltaksalternativene, men null-alternativet kommer betydelig dårligere ut enn alle tiltaksalternativene i begge scenarier.

9.5. Realopsjoner og fleksibilitet

I vurderingen av konseptvalg er det også av betydning hvor fleksible løsningene er for mulige endringer i forutsetningene. Alternativer som gir økt fleksibilitet er å foretrekke, alt annet gitt.

De største usikkerhetene knyttet til valg av løsning for oppbevaring av atomavfall knytter seg til teknologisk utvikling på feltet og muligheten for endring i muligheter for internasjonalt samarbeid om dypdeponi. Dersom det i fremtiden kommer nye metoder for stabilisering eller dypdeponi, vil disse metodene potensielt kunne gi store besparelser. Det kan tenkes at man i fremtiden vil få ny teknologi for stabilisering av aluminiumskapslet oksidbrensel, for eksempel gjennom utvikling av løsninger for omkapsling av avfallet. Slik teknologi kan da bli et alternativ til reprosessering for denne avfallstypen.

Teknologisk endring kan også påvirke valgt løsning for deponi; kanskje vil det for eksempel utvikles løsninger med borehull som er like gode, men mindre kostbare enn den svenske modellen.

Kvalitetssikrer ser imidlertid ikke noen spesifikke prosesser som tyder på særlige gjennombrudd på noen av disse områdene i nær fremtid. I denne sammenheng er det også viktig å påpeke at det ikke virker sannsynlig at det vil oppstå ny teknologi for å stabilisere det metalliske brenselet. En utsettelse av beslutningen om å stabilisere det metalliske brenselet har det derfor liten verdi og vil ha en betydelig nedside ved forlengede kostnader til lagring og medførende ulykkesrisiko.

Derimot vil det være store potensielle besparelser knyttet til å inngå internasjonalt samarbeid om dypdeponi. Kostnadene til å bygge dypdeponi er i stor grad uavhengig av mengden avfall som deponeres. Fordi Norge har såpass lite avfall fremstår det som svært fornuftig å samarbeide om dypdeponi med en eller flere andre nasjoner. Et slikt samarbeid må trolig fremforhandles på øverste politiske nivå over mange år, så avklaringer om denne muligheten vil ligge langt frem i tid. De potensielle kostnadsbesparelsene er imidlertid såpass store at denne opsjonen vurderes som verdifull. Nullalternativet kommer derfor bedre ut enn tiltaksalternativene på dette punktet.

Alternativ IV Full reprosessering gir i tillegg en mulighet for å velge å få mellomaktivt avfall i retur, i stedet for høyaktivt avfall. Dette kan i fremtiden tenkes å gi muligheten til en noe enklere og dermed billigere deponiløsning. Per i dag finnes det imidlertid ingen utprøvd teknologi for en slik løsning og det må derfor legges til grunn at man må bygge samme type dypdeponi som i de andre tiltaksalternativene, selv om alt avfall fra brukt brensel er i en mellomaktiv form. VI har uansett noe annet høyaktivt avfall (thoriumstaver), og

en deponiløsning må også kunne tilfredsstillende kravene til deponering av dette. Alternativ IV Full repressering kommer likevel noe bedre ut enn de andre tiltaksalternativene når det gjelder realopsjoner, fordi man har en mulig oppside ved en enklere deponiløsning dersom avfallet i retur fra repressering tas hjem som mellomaktivt, i stedet for høyaktivt.

I dette prosjektet er usikkerheten kontinuerlig; det er ikke et konkret tidspunkt i fremtiden der det forventes viktige, usikkerhetsreducerende avklaringer. Det er heller ikke slik at det er noe konkret grunnlag for å vente at det vil skje betydelige teknologiske nyvinninger på området. Derfor skal slike realopsjoner i dette tilfellet tillegges begrenset vekt. Muligheter for internasjonalt samarbeid om dypdeponi kan derimot tenkes å avklares innen en rimelig tidsramme dersom det tas politisk initiativ, og dette er derfor en realopsjon som tillegges verdi.

Nullalternativet gir dermed større fleksibilitet enn alle tiltaksalternativene fordi beslutningene om stabilisering og dypdeponi utsettes. Også konsepter der det etableres dypdeponi tidlig vil likevel kunne la seg tilpasse utover i analyseperioden. I den lange planleggingsfasen vil det for eksempel antagelig være mulig å utrede ulike lokaliseringer uavhengig av hvilken deponitype som velges. En godt designet prosess vil muliggjøre at beslutningene tas så sent som mulig, slik at prosessen ikke forsinkes, men døren likevel holdes åpen for å ta inn ny informasjon.

10. Samlet vurdering og anbefaling

10.1. Anbefaling

Etter kvalitetssikringen er dermed vår anbefaling følgende:

Alternativ II Reprosesser alt ustabilt rangeres som det beste alternativet etter en samlet vurdering av samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Alternativet er kun marginalt dårligere enn *alternativ I Minimal reprosessering* på de prissatte effektene, og vurderes som bedre på de ikke-prissatte effektene ved at aluminiumskapslet oksidbrensel stabiliseres gjennom en utprøvd og tryggere metode i et kommersielt anlegg. *Alternativ IV Full reprosessering* er noe bedre enn *alternativ II* fordi alt brukt brensel da vil bringes i enhetlig form og med en ekstra glassbarriere. Disse effektene er likevel små og vurderes ikke å være verdt den prissatte merkostnaden på 400-750 millioner kroner sammenlignet med *alternativ II*. *Nullalternativet* er vesentlig bedre enn alle tiltaksalternativene på de prissatte effektene, men innebærer ingen langsiktig løsning på avfallshåndteringen og vurderes derfor samlet som betydelige dårligere enn tiltaksalternativene.

Tabell 10-1: Samlet vurdering

	Alternativ	Netto nåverdi, MNOK	Ikke prissatte	Fordelings- virkninger	Real- opsjoner	Rang
Stans 2020	0	-3 170	4	4	1	4
	I Minimal reprosessering	-8 340	3	1	3	3
	II Reprosesser alt ustabilt	-8 380	2	1	3	1
	IV Full reprosessering	-8 700	1	1	2	2
Stans 2100	0	-4 580	4	4	1	4
	I Minimal reprosessering	-6 880	3	1	3	3
	II Reprosesser alt ustabilt	-6 890	2	1	3	1
	IV Full reprosessering	-7 730	1	1	2	2

Kvalitetssikrers anbefaling skiller seg fra KVVU-ens anbefaling. Kvalitetssikrer anbefaler reprosessering kun av det ustabile brukte brensel, etablering av mellomlager og tilgang til dypdeponi. KVVU-en anbefaler reprosessering av alt brukt brensel og etablering av mellomlager, men ikke deponi. Kvalitetssikrer anser at et alternativ som ikke tilrettelegger for deponering i analyseperioden ikke er et gyldig alternativ, grunnet kravet om at hver generasjon skal rydde opp i eget avfall. Spørsmålet om hvor stor del av brensel som skal reprosesserer blir i stor grad et kostnadsspørsmål, og med den kostnadsmodell vi har blitt forelagt er det ikke lønnsomt å reprosessere mer brukt brensel enn behovet for stabilisering tilsier.

Kvalitetssikrers anbefaling gjelder uavhengig av nedstengningstidspunkt for reaktorene. KVVU-ens anbefaling om full reprosessering gjelder kun ved tidlig nedstengning. Ved sen nedstengning gis det ingen tydelig anbefaling om hvilket alternativ som bør velges.

Tabell 10-2 Sammenligning av anbefaling i KVVU og KS1

	KVVU Alternativ	KVVU prissatte effekter	KVVU Rang	KS1 Alternativ	KS1 Prissatte effekter	KS1 Rang
Tidlig stans	0	-1 800	3	0	-3 170	4
	1 Samlager i Norge	-1 360	2	I Minimal repressering	-8 340	3
	2 Deponi i Norge	-1 860	5	II Represser alt ustabil	-8 380	1
	4 Repressering alt brensel	-750	1	IV Full repressering	-8 700	2
Sen stans	0	-1 530	1	0	-4 580	4
	1 Samlager i Norge	-2 200	3	I Minimal repressering	-6 880	3
	2 Deponi i Norge	-2 600	5	II Represser alt ustabil	-6 890	1
	4 Repressering alt brensel	-1 730	2	IV Full repressering	-7 730	2

Både KVVU-en og kvalitetssikrer anbefaler en videreføring av dagens behandling av kortlivet radioaktivt avfall, og dermed en økt deponikapasitet i perioden, enten ved utvidelse av dagens KLDRA eller etablering av nytt KLDRA. Både KVVU-en og kvalitetssikrer fremholder også at mellomlagring av langlivet avfall bør skje på så få steder som mulig.

10.2. Potensielle løsningsalternativer som kan rangeres foran grunnstrategien

For å kunne kostnadsberegne alternativene er det lagt til grunn konkrete løsninger som anses å være tilgjengelig i dag. Samtidig har kvalitetssikrer pekt på alternative løsninger som vil kunne være like gode eller bedre enn løsningene som er kostnadsberegnet, men som ikke er basert på moden teknologi, eller som per i dag av andre grunner ikke er utprøvd. Det er særlig to slike muligheter kvalitetssikrer anser for å være potensielt kostnadsbesparende, og disse beskrives kort nedenfor.

10.2.1. Internasjonalt samarbeid

Et internasjonalt samarbeid vil kunne være svært kostnadsbesparende, grunnet betydelige stordriftsfordeler. Norge er en liten atomnasjon, og dette gjør kostnadene til oppbevaring av atomavfall svært høye per enhet. Et samarbeid med større atomnasjoner vil kunne bety at den store nasjonen får en betaling fra Norge som overstiger merkostnadene, mens kostnaden for Norge likevel blir betydelig lavere enn om Norge selv skulle måtte håndtere avfallet.

Det kan tenkes internasjonalt samarbeid i form av at Norge eksporterer avfallet, i form av at Norge får lagre norsk avfall i et mellomlager i annet land, eller i form av at Norge får deponere norsk avfall i et annet lands deponi. Det kan også tenkes løsninger der det etableres mellomlager og/eller deponi i Norge, som andre land får benytte for sitt avfall.

Særlig internasjonalt samarbeid i form av eksport eller i form av tilgang til utenlandsk deponi vil kunne gi betydelige kostnadsbesparelser. Kostnadene ved et mellomlager er mer begrenset, og stordriftsfordelene mindre tydelige.

Internasjonalt samarbeid om håndtering av radioaktivt avfall er ikke vanlig per i dag. Som vi har vist har flere land lovforbud mot internasjonalt samarbeid på dette området, inkludert Sverige og Finland, som ellers antagelig ville vært de mest naturlige land for Norge å samarbeide med.

Dersom en internasjonal samarbeidsløsning viser seg mulig å etablere, vil kvalitetssikrer anbefale en slik løsning.

10.2.2. Mellomdypt geologisk deponi og borehull

Dersom det skal bygges et deponi for langlivet avfall i Norge, vil det være fordelaktig om det kan gjøres med en mindre kostnadskrevende teknologi enn den som er anvendt i Sverige og Finland (geologisk dypdeponi), og som er lagt til grunn i kvalitetssikrers kostnadsberegninger. Mellomdype geologiske deponi og dype borehull er teknologiske løsninger som er diskutert, men som foreløpig ikke er realisert.

Disse løsningene vil potensielt kunne være mer kostnadseffektive enn et geologisk dypdeponi, fordi selve investeringen i å bygge deponiet antagelig vil være lavere. Samtidig vil det kunne være meget kostbart å utvikle teknologien til et nivå der sikkerheten er bevist, slik at metoden kan lisensieres. Dersom Norge skulle gjennomført en slik utviklingsprosess alene, vil det kunne ta svært lang tid, og kostnadene vil kunne være så betydelige at tiltaket i sum blir dyrere enn bygging av et geologisk dypdeponi.

Dersom disse teknologiene skal anvendes ved bygging av et norsk deponi for langlivet avfall, bør derfor teknologiene først utvikles annet sted, slik at Norge kan basere seg på en moden teknologi.

10.3. Sammenhengen mellom anbefaling i KVV om oppbevaring og KVV om dekommisjonering

Anbefalingen i KVV om oppbevaring av radioaktivt avfall innebærer at det er behov for mellomlager for brukt brensel og radavfallsanlegg også i fremtiden. Vi tar ikke stilling til hvor disse anleggene skal lokaliseres, men vi bemerker at det antagelig vil kunne være en raskere lokaliseringsprosess dersom disse anleggene lokaliseres til IFEs anlegg på Kjeller eller Halden. Dersom en slik løsning velges, vil det medføre at man må velge alternativ 1c dekommisjonering til fortsatt nukleær virksomhet. Hvis reaktorene senere stenges ned, vil mellomlageret kunne avvikles når deponiet står klart.

Dersom radavfallsanlegget og mellomlageret etableres annet sted, vil anleggene på Kjeller og i Halden kunne dekommisjoneres til det anbefalte alternativet 1a dekommisjonering til fri bruk.

10.4. Rangering av resultatmål

Alternativanalysens vurdering av de prissatte og ikke-prissatte virkningene illustrerer betydningen av de ulike aspektene som må ligge til grunn når en rangering av resultatmål skal vurderes. Resultatmål benyttes for styring av gjennomføringen av tiltaket og en prioritering av resultatmålene skal bidra til at det blir samsvar mellom behovene og betydningen av disse og tiltakets slutttilstand. Resultatmål deles gjerne inn i tre kategorier som adresserer tid, kostnad og kvalitet. I enkelte sektorer, eksempelvis olje og gasssektoren er gjerne helse, miljø og sikkerhet (HMS) en fjerde kategori resultatmål.

Sikkerhet er et svært viktig perspektiv i dette tiltaket. Sikkerhet kan anses å være det langt viktigste kvalitetskriteriet når man skal finne gode oppbevaringsløsninger for radioaktivt avfall. Det knytter seg svært strenge krav til sikkerhet i nukleær sektor, og sektoren er preget av en sikkerhetskultur. I dette tiltaket vil derfor sikkerheten prioriteres først.

Sikkerhet og tid henger i dette tiltaket sammen. Sikkerheten knyttet til det metalliske brensløt blir dårligere med tiden, og med de forhold som er avdekket i dagens lagre er det tidskritisk å endre dagens lagringsforhold og å stabilisere dette brukte brensløt. Også etablering av ny deponikapasitet for kortlivet avfall er tidskritisk, fordi eksisterende deponi snart er fylt opp. Det er også elementer i tiltaket som er av mindre tidskritisk karakter, men totalt sett må likevel tid prioriteres før kostnad.

Dette betyr ikke at det ikke er viktig å gjennomføre tiltaket så kostnadseffektivt som mulig. Innenfor et ønskelig sikkerhetsnivå, som realiserer en løsning tidsnok, vil man alltid måtte bestrebe seg på å gjennomføre tiltaket til lavest mulig kostnad. Men i dette tiltaket vil det ikke være slik at man i særlig grad kan redusere sikkerheten eller forsinke ferdigstillingen for å redusere kostnadene. Derfor er kostnad rangert nederst av resultatmålene:

Tabell 10-3 Rangering av resultatmål

Rangering av resultatmål	
1	Kvalitet (sikkerhet)
2	Tid (Gjelder stabilisering av det ustabile avfallet og tiltak for bedre mellomlagring. For deponiløsning prioriteres kostnad før tid, gitt at det ikke kun skjer for å skyve ansvaret over på senere generasjoner)
3	Kostnad

11. Føringer for forprosjektfasen

I kvalitetssikringen skal det blant annet gjøres en vurdering av KVVU-ens gjennomføringsstrategi for det anbefalte alternativet. Det skal fokuseres spesielt på forhold som er viktig ut fra et eierperspektiv.

Vi har gjennomført kvalitetssikringen ved å innledningsvis beskrive hvilke behov det er for ytterligere avklaringer eller utredninger for deretter å gi våre kommentarer til KVVU-ens gjennomføringsstrategi.

11.1. Behov for avklaringer

Tiltakene som er analysert og anbefalt er svært utredningsintensive, en betydelig del av arbeidet består av undersøkelser av hvorvidt en løsning er egnet eller ikke. Det er allerede gjennomført en lang rekke utredninger av spørsmålet om hvordan radioaktivt avfall skal håndteres på konseptuelt nivå. I forprosjektet vil det være behov for en lang rekke tekniske utredninger som må dokumentere teknisk egnethet, modenhet og sikkerhet. Disse utredningene må ikke foreligge i sin helhet før tiltak iverksettes, men innleder ulike faser i tiltaksrekken.

11.1.1. Tidligfasestudie og forprosjektsstudie for reprosessering

Det må umiddelbart startes opp arbeid for å muliggjøre reprosessering. Dette inkluderer utredning av brenselets tilstand, nødvendig behandling før transport, sikkerhetsforanstaltninger ved transport, og utarbeidelse av kontrakt om reprosessering med leverandør. Se avsnitt 11.3.1 for nærmere beskrivelse.

11.1.2. Lisensieringsprosess for oppbevaringsbeholdere

For transport til reprosessering og mellomlagring vil oppbevaringsbeholdere være nødvendige. Disse må lisensieres for bruk i Norge og transport internasjonalt. Initielt vil det være behov for undersøkelser av hvilke beholdere som tilbys og som er egnede. Deretter vil en prosess for lisensiering kunne ta flere år.

11.1.3. Fremtidig organisering av avfallshåndtering

I dag har IFE ansvaret for avfallshåndtering. IFE er i tillegg en betydelig avfallsprodusent. En slik dobbeltrolle er etter kvalitetssikrers mening uheldig og disse bør prinsipielt være atskilt. Det anbefales at det utredes hvordan dette kan ivaretas og eventuelt hvordan organisering av avfallshåndtering kan sees i sammenheng med en eventuell dekommisjoneringsorganisasjon.

11.1.4. Avklaring om krav til deponiløsning

Et grundig arbeid må gjøres for å avklare hvilke krav som stilles til endelig deponering av brukt reaktorbrensel, returavfall fra reprosessering og annet høyaktivt avfall. Denne avklaringen bør gjøres i forprosjektfasen, for å kunne styre senere beslutninger og legge premisser for valgt deponiløsning. Blant annet kan en slik avklaring gi tydelige anbefalinger om hvilken type avfall man bør etterstrebe å få i retur etter reprosessering.

11.1.5. Dypdeponi basert på borehull

Norske fagmiljøer har stor kompetanse og lang erfaring med å bore dype borehull i grunnfjellet. Hittil har bruk av dype borehull til deponering av radioaktivt avfall befunnet seg på idéstadiet, og det er uklart om eksisterende borehull er direkte egnet for dette bruksområdet. Tatt i betraktning Norges volum av radioaktivt avfall og forutsetninger for å benytte borehull kan løsningen allikevel være aktuell for det norske radioaktive avfallet. Dette må avklares i forprosjektfasen, da det har betydning for tidligere beslutninger om reprosessering. Se for øvrig eget vedlegg til denne rapporten som drøfter problemstillingen knyttet til borehull.

11.2. KVVU-ens anbefalinger for gjennomføringsstrategien

Anbefaling for videre planlegging er beskrevet i kapittel 6 i KVVU-en, og dette kapittelet er delt i fire deler. Del I omhandler overordnede valg som bør tas tidlig, del II omhandler hvordan strategiske veivalg påvirker anbefaling av alternativ, del III omhandler hvordan det kan sikres at behov knyttet til løsning blir ivarettatt, og del IV fokuserer på regelverket.

Del I innledes med en anbefalt beslutningsstruktur som reflekterer sammenhengen mellom de to KVVU-ene. Denne sammenhengen er som følger:

Når forventes nedstengning av reaktorene?	KVU oppbevaring	Avklaringer: Finansiering Organisering og ansvar
Er reprosessering akseptabelt?		
Velg løsning for brukt brensel og annet radioaktivt avfall		
Hva ønsker man av fremtidig bruk av områdene?	KVU dekommisjonering	
Velg nivå for dekommisjonering		

I de to etterfølgende delkapitlene behandles hvordan ulike valg påvirker løsning for brukt brensel og annet radioaktivt avfall. Det første delkapittelet går inn på hvordan varigheten av fortsatt reaktordrift påvirker rangering av skisserte alternativer. Dette etterfølges av en beskrivelse av hvordan repressering påvirker mulighetsrommet. Her avklares det også at hvis Norge velger en strategi for langtidslagring uten repressering, så vil denne strategien ikke være i henhold til IAEA og EUs anbefalinger.

Del II vurderer strategiske veivalg med hensyn på kombinasjoner av utfall fra problemstillingene som er behandlet i del I. Denne delen oppsummerer hvordan den samfunnsøkonomiske nytten er avhengig av mengde brukt brensel som represseres, samt varighet for fortsatt reaktordrift. Etter dette følger en gjennomgang av aktiviteter som må gjennomføres i en forprosjektfase. For å komplettere bildet, så inkluderer også KVVU-en både aktiviteter ved tidlig nedstengning av begge reaktorer og aktiviteter dersom det planlegges med langvarig drift av reaktorene.

Del III går inn på hvordan de viktigste behovene, målene og kravene som er beskrevet i kapittel 3 bør ivaretas i etterfølgende faser. I egne delkapitler behandles effektiv bruk av anlegg og arealer, tilgang til riktig kompetanse til rett tid, at løsningene må være fleksible så ikke handlingsrommet låses i fremtiden, behov for klarhet i roller, ansvar, organisering og finansiering, prosessen for å finne lokalisering av nye anlegg, behovet for positive ringvirkninger av tiltakene, og til slutt interessehåndtering (hvordan åpenhet styrker opplevd trygghet).

Del IV er en kort og klargjørende gjennomgang av hvordan et tydeligere regelverk, krav til dokumentasjon og bedre kontroll kan redusere mengde radioaktivt avfall som må deponeres. Her er KVVU-gruppen tydelig på at dagens system ikke er godt nok med hensyn på avfall som må deponeres og avfall som kunne vært friklasset. KVVU-en er også tydelig på at andre land har et mer effektivt regelverk enn hva som finnes i Norge.

Kvalitetssikrers vurdering av gjennomføringsstrategien

KVVU-ens føringer for forprosjektfasen fremstår som tilstrekkelig god.

Det er vanskelig å gi en tilråding om prosjektorganisasjonens omfang på nåværende tidspunkt. Kvalitetssikrer kan imidlertid se noen nøkkelprosjekter for å realisere tiltaket. En inndeling i prosjekter kan være som følger:

- Reprosessering av brukt brensel, herunder håndtere den ikke tilfredsstillende lagringsløsningen for historisk brukt brensel ved IFE på Kjeller i dag
- Planlegging og realisering av et mellomlager
- Planlegging og realisering av et KLDRA 2
- Planlegging og realisering av et dypdeponi

Med hensyn på å vurdere den samlede struktur i måten prosjektene er delt opp på, så får KVVU-en frem nødvendigheten av å se beslutningsstrukturene til de to KVVU-ene i sammenheng. Tas beslutninger i feil rekkefølge eller hvis det tar for lang tid med innledende beslutninger, så er det en reell risiko for at kostnader øker og i verste fall at reprosesseringsløsninger forsvinner. Kvalitetssikrer deler imidlertid ikke KVVU-ens oppfatning om at spørsmålet om nedleggelse eller fortsatt drift av reaktorene må avklares før man setter i gang tiltak for å forsvarlig lagre det brukte brenselet. Dette må gjøres umiddelbart.

KVVU-en har belyst sammenhengen med dekommisjonering og oppbevaring, og det kommer også frem hvordan ulike strategier og aktiviteter påvirker hverandre. En utfordring i forprosjektfasen vil være å ta beslutninger som konkretiserer måten Norge skal håndtere radioaktivt avfall i tiden fremover. Valgene som tas vil ha stor påvirkning for dimensjonering og kompetanse i prosjektorganisasjon.

I KVVU-en knyttes behovene til gjennomføringsstrategien. Kvalitetssikrer mener at dette er fornuftig og dokumenterer konsistens i KVVU-en.

Videre vil vi beskrive føringer for forprosjektfasen slik de fremstår etter kvalitetssikring av konseptvalgutredningen.

11.3. Kvalitetssikrers føringer for forprosjektfasen

Tiltaksalternativene som har blitt utredet i konseptvalgutredningen og i kvalitetssikring av denne representerer komplekse prosjekter, med noen tydelig definerte delprosjekter. Delprosjektene er gjensidig betingede, og valg av strategi på kort sikt har betydning for gjennomføringsstrategi på lengre sikt. I det følgende skisseres aktiviteter som vil være viktige på kort og mellomlang sikt for å redusere risiko og minimere kostnadene. Realopsjoner må overvåkes parallelt med prosesser som utgår av basisanbefalingene.

En stor risikofaktor ved gjennomføringen av prosjektene for å håndtere radioaktivt avfall er at utarbeidede strategier ikke er fullstendig dekkende for forskjellige avfallstypers behov. Strategier som ikke er komplette etterlater såkalte «orphan wastes» som forblir et uløst problem. Håndtering av radioaktivt avfall, inkludert reprosessering og deponering, innebærer en stor oppstartskostnad, som man bør unngå å betale flere ganger.

11.3.1. Handling på kort sikt som kan redusere risiko og realisere oppsidepotensial

Sikre at mellomlagring av metallisk brensel er sikker

Det må avdekkes om dagens lagre for metallisk brensel må erstattes umiddelbart eller om tilstanden vil være akseptabel i de årene det vil ta før ompakking til leiebeholdere som kan benyttes i reprosesseringsanlegget og transport til reprosessering kan gjennomføres. Hvis umiddelbare tiltak er nødvendig må det anskaffes

teknisk utstyr for behandling av hydrater og ompakking og det må lisensieres og anskaffes dry-casks som er egnet for oppbevaring av det metalliske brenselet. Hvis det er mulig å legge det i beholdere som er kompatible med reprosesseringsanlegget vil man unngå en ekstra ompakking.

Undersøke mulighet for retur/eksport av brukt brensel

Ved nedstengning av de danske forskningsreaktorene på Risø ble alt det brukte brensel returnert til produsentlandet. Det samme er målsetningen ved nedstengningen av forskningsreaktor i Finland.

En retur-/eksportløsning vil kunne være meget kostnadseffektiv, særlig dersom alt brukt brensel kan sendes.

IFE har et stykke på vei undersøkt mulighetene for retur/eksport, og mener dette ikke er en aktuell løsning innenfor eksisterende programmer. Det bør imidlertid vurderes kontakter på politisk nivå før løsningen forkastes.

Igangsett prosess for å muliggjøre reprosessering

Kvalitetssikrer har konkludert med at det metalliske brukte brenselet må reprosesserer. En rask beslutningsprosess med sikte på å gjennomføre dette tiltaket er en klar suksessfaktor for prosjektet. Kvalitetssikrer har i møte med potensiell leverandør av reprosesserings tjenester fått klarlagt premissene for å kunne gjennomføre reprosessering. Det er derigjennom blitt klart at det både er tids- og ressurskrevende å få på plass et avtaleverk og gjennomføre reprosessering. Oppnådd progresjon i arbeidet med å finne en løsning for det metalliske brenselet vil være av betydning for konsesjonssøknadene for reaktorene, hvor IFE må dokumentere en forsvarlig tilstand. JEEP II-reaktoren må få fornyet sin konsesjon innen 2018 for å kunne fortsette sin drift. Disse kjensgjerningene tilsier at reprosessering av det metalliske brenselet gis høyeste prioritet.

Det understrekes imidlertid at en reprosesseringsstrategi for annet avfall enn metallisk brensel også kan være aktuelt.

For å muliggjøre en så rask reprosessering som mulig, må følgende kjede av aktiviteter igangsettes snarest:

- Ferdigstillelse av IFEs pågående tilstandsundersøkelser av JEEP I stavbrønn.
- Tidligfasestudie for reprosessering, vurdering av avfall og transport (snarest). IFE og Areva foretar dette i samarbeid.
- Bekrefte deltakelse i Arevas nye reprosesseringslinje for eksperimentelt brensel (Frist for påmelding juni 2016).
- Forprosjektstudie for reprosessering (endelig utforming av opplegg for behandling, transport og reprosessering, danner grunnlag for pristilbud)
- Avklar fordeler og ulemper med retur av avfall som høyaktivt eller mellomaktivt (samme totale strålingsmengde).
- Forhandling om bilateral avtale med Frankrike om reprosessering av brukt brensel
- Prisforhandlinger med Areva
- Det vil trolig være nødvendig å fjerne korrosjon på det metalliske brensel før transport. Det bør igangsettes et forskningsprogram for å klarlegge og lisensiere metode for en slik prosess.

Fremforhandlet pris med Areva bør avgjøre hvilket avfall som besluttet repossessert

Avdekk mulige alternativer til reprosessering hos Areva

Det er ønskelig å holde mulighetsrommet åpent, av den grunn at reprosessering er kostbart og tilbys av aktører som er tilnærmet enerådende på markedet. Mulighet for bruk av andre teknologier eller leverandører kan bedre forhandlingsposisjonen mot valgt leverandør.

Det bør derfor avdekkes om det finnes andre reprosesseringsanlegg som kan ta imot norsk avfall og som er politisk akseptable.

Det bør også avdekkes om andre stabiliseringsformer kan være aktuelle, eller om det eksisterer metoder som tillater direkteponering av også det ustabile brenselet. Det understrekes at Norge ikke bør ta en utviklende rolle i å benytte slike metoder, da det vil bli langt mer kostbart og tidkrevende enn å bruke allerede dokumenterte metoder.

Det bør iverksettes en første fase i et forskningsprogram for å klarlegge og lisensiere metode for omkapsling av aluminiumskapslet brensel, for å muliggjøre deponering av dette brenselet uten at det reprosesserer.

Sikre nok mellomlagringskapasitet for brukt brensel

Det må lages en detaljert plan for å sikre tilstrekkelig mellomlagerkapasitet. Dagens kapasitet i Halden ventes å være fylt opp i 2020. Hvis reprosessering hos Areva velges er første mulige sending trolig i 2021.

Brenselsvolumene må optimaliseres (slik IFE allerede er i gang med) og kapasiteten bør trolig utvides, i alle fall hvis ikke metallisk brensel sendes til reprosessering i løpet av kort tid. Uegnede lagre bør erstattes med nye.

En kostnadseffektiv og fleksibel lagringsform er å benytte oppbevaringsbeholdere («dry storage casks»). Disse kommer i mange varianter, hvorav flere er egnet for å oppbevare det norske brenselet. Det kreves imidlertid lisensiering og tilpasning av lagringsposisjoner for at disse kan brukes i Norge. Kostnaden for oppbevaringsbeholderne vil fremkomme av forhandlinger med en av et begrenset antall leverandører. Det anbefales at det gjøres en kartlegging av hvilke muligheter innen oppbevaringsbeholdere som eksisterer for norsk brensel.

Det må også gjøres ytterligere undersøkelser om behov til fysisk sikring av oppbevaringsbeholdere og mulige lokaliseringer. Så lenge det er reaktordrift på IFEs områder i Halden og på Kjeller anses det for mest hensiktsmessig å lokalisere oppbevaringsbeholdere der. En annen lokalisering enn Kjeller eller Halden antas å kunne forsinke prosessen.

11.3.2. Avklaringer og beslutninger som vil bidra til måloppnåelse på lang sikt

Avklar organisering for håndtering av radioaktivt avfall

I dag har IFE ansvaret for avfallshåndtering. IFE er i tillegg en betydelig avfallsprodusent. En slik dobbeltrolle er etter kvalitetssikrers mening uheldig og disse bør prinsipielt være atskilt. Internasjonal beste praksis er at det eksisterer et skille mellom avfallsprodusenter og avfallsmottager. Det anbefales at det utredes hvordan dette kan ivaretas og eventuelt hvordan organisering av avfallhåndtering kan sees i sammenheng med en eventuell dekommisjoneringsorganisasjon. .

Det bør derfor vurderes etablert/utpekt en virksomhet med ansvar for:

- Behandling og oppbevaring av alle typer radioaktivt avfall
- Mellomlagring av brukt brensel
- Planlegging av nytt KLDRA
- Planlegging av dypdeponi
- Utvikling av kostnadsfordelingsmodell

For umiddelbare tiltak tidlig i forprosjektfasen, som avklaring av mulighet for reprosessering ved et anlegg i utlandet, bør IFE ha stor deltakelse, og lede an i prosessen. Den tekniske kompetansen ligger i dag hos IFE, og disse oppgavene korte tidshorisont tilsier at en omorganisering ikke praktisk lar seg gjennomføre tidsnok.

Sikre at forurenser betaler for håndtering og oppbevaring av radioaktivt avfall

I Finland og Sverige er finansieringen av behandling og oppbevaring av radioaktivt avfall regulert i lov. Det er etablert et fond der avfallsprodusentene skyter inn midler avhengig av det produserte avfallsvolumet. Fondet er beregnet å dekke de samlede kostnader til avfallsbehandling i all fremtid. Et lignende system, som sikrer en finansiering av avfallshåndteringen som er i tråd med forurenser betaler-prinsippet, bør etableres også i Norge. Hovedhensikten bør være at den virkelige kostnaden ved virksomhet som produserer radioaktivt avfall internaliseres i disse virksomhetene.

Start planlegging av nytt KLDRA

Et nytt kombinert lager og deponi for lav- og mellomlivet kortlivet avfall (KLDRA) bør stå klart når dagens anlegg i Himdalen er forutsett å gå full. Dersom IFEs nukleære anlegg skal dekommisjoneres i nær fremtid vil deponiet i Himdalen gå fullt rundt 2025 og et nytt anlegg bør være på plass innen da for å ta imot videre dekommisjoneringsavfall. Uten dekommisjonering er Himdalen beregnet å gå fullt i 2037. Anlegget kan i stor grad bygges etter modell av anlegget i Himdalen, men det er likevel viktige avklaringer som må på plass:

- Det må avklares om utvidet kapasitet for denne typen radioaktivt avfall skal etableres i forbindelse med KLDRA Himdalen eller på et nytt sted. Om det førstnevnte velges må konsesjonen for KLDRA Himdalen fornyes. Det er teknisk mulig å utvide det eksisterende anlegget, men konsesjonen setter grenser for mengden avfall og stråling som tillates. Ved valg av en ny lokalisering må det gjennomføres en lokaliseringsprosess, og det må utarbeides nye konsesjonsvilkår for dette anlegget.
- Kvalitetssikrer deler KVU-ens oppfatning av at det er helt nødvendig å gjøre en gjennomgang av det norske regelverket med hensyn på avfall som må deponeres. Kvalitetssikrer anbefaler at det startes et arbeid med å tilpasse og modne regelverket sett i lys av internasjonalt regelverk og standarder. Dette inkluderer blant annet regel for friklassing noe som har stor betydning for dimensjonering av oppbevaringsløsningene. I tillegg vil det være fornuftig å innføre flere kategorier for radioaktivt avfall for å optimalisere oppbevaringsløsningene, noe som igjen vil være med å redusere kostnader.
- Det vil også være behov for et nytt radavfallsanlegg (anlegg for mottak, behandling og pakking av radioaktivt avfall) dersom anlegget på Kjeller skal friklasseres i forbindelse med dekommisjonering.

Undersøk muligheten for internasjonalt samarbeid om dypdeponi

Bygging av et dypdeponi i Norge for kun det norske brukte brensel vil gi en meget høy kostnad per tonn brensel. Derfor bør alle muligheter for internasjonalt samarbeid for dypdeponi av høyaktivt radioaktivt avfall undersøkes før det igangsettes bygging av et dypdeponi i Norge.

For å gjøre slike muligheter realiserbare bør det tas initiativ på politisk nivå mot IAEA, EU og enkeltnasjoner for å forsøke å igangsette et bredere internasjonalt samarbeid. Avhengig av hvilken samarbeidsform man tenker seg må Norge akseptere muligheten for at internasjonalt samarbeid kan lede til at deponi blir lokalisert her i landet.

Dersom det viser seg umulig å gå videre med internasjonalt samarbeid om dypdeponi, må det igangsettes planlegging av dypdeponi i Norge.

Som del av dette arbeidet bør alternative deponiformer som potensielt kan gi besparelser vurderes. Blant annet kan bruk av borehull være en løsning som krever færre inngrep og mindre infrastruktur. Denne løsningen er imidlertid fortsatt langt fra å bli realisert noe sted i verden, og et norskledet utviklingsarbeid vil på den annen side øke ressursbruken betydelig. Dersom dette skal være aktuelt må andre land gå foran i utviklingen. Se for øvrig eget vedlegg til denne rapporten vedrørende borehull.

Et annet alternativ til dypdeponi er et grunnere deponi for kun mellomaktivt langlivet avfall. Skottland har valgt en slik løsning for oppbevaring av radioaktivt avfall fra dekommisjonering av atomreaktorene i Dounreay. Dette anlegget er imidlertid ikke tenkt å innebære endelig deponering av avfallet, og innebærer

sannsynligvis kontinuerlig overvåkning. Hvis dette skal være aktuelt for Norge må det undersøkes om et grunnere deponi kan være akseptabelt også over en lengre horisont, og alt reaktorbrensel må reprocesseres med mellomaktivt avfall i retur.

Vedlegg 1 Gjennomføring av oppdraget

Vedlegg 2 Usikkerhetsanalyse

Vedlegg 3 Samfunnsøkonomisk analyse – Utdypende analyser

Vedlegg 4 Betrachtninger knyttet til borehull som dypdeponi



ATKINS

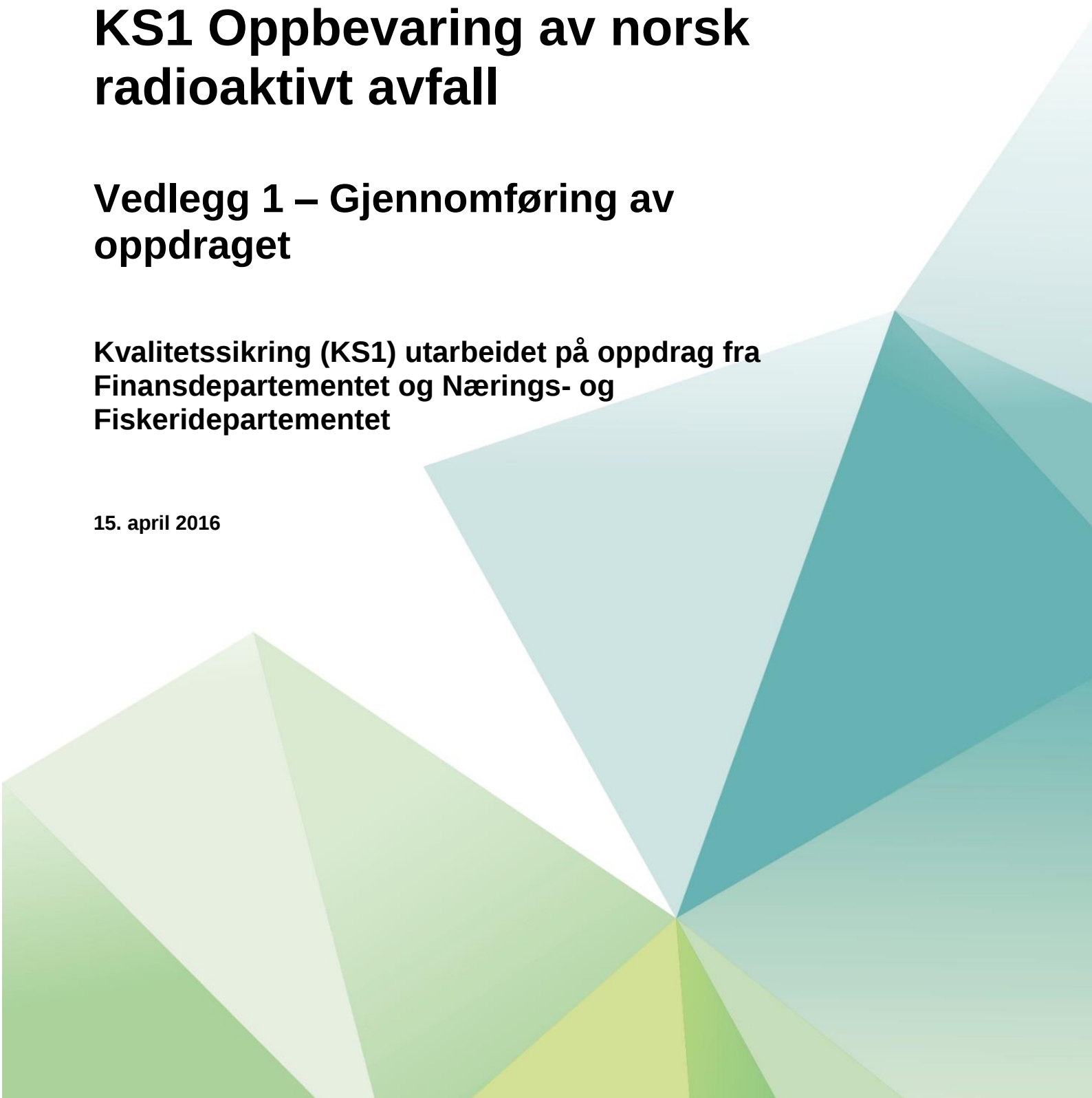
oslo**economics**

KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall

Vedlegg 1 – Gjennomføring av oppdraget

**Kvalitetssikring (KS1) utarbeidet på oppdrag fra
Finansdepartementet og Nærings- og
Fiskeridepartementet**

15. april 2016



ATKINS

Atkins er et av verdens mest respekterte konsultentselskaper innen prosjektledelse og engineering av komplekse prosjekter. Vi verdsetter langsiktig samarbeid med våre kunder og partnere, og gjør vårt ytterste for å bidra til bærekraftig utvikling og vekst til beste for våre kunder og samfunnet – lokalt og globalt.

Atkins Norge er et av Norges ledende konsultentselskaper innen rådgivning, beslutningsstøtte, ledelse og styring av prosjekter. Vår kjernekompetanse er prosjektarbeid, og vi har siden oppstarten av Terramar i 1987 hatt sentrale roller i planlegging og gjennomføring av noen av de mest krevende prosjektene i Norge. Blant våre kunder finnes en rekke offentlige etater og de største aktørene i norsk næringsliv. Med virkning fra 2014 sluttet Terramar seg til Atkins – en av verdens største konsulent- og rådgivningsvirksomheter med ca. 18000 ansatte, hvorav ca. 700 i Skandinavia. Selskapet har sitt hovedkontor i Storbritannia og er notert på London Stock Exchange.

osloeconomics

Oslo Economics utreder økonomiske problemstillinger og gir råd til bedrifter, myndigheter og organisasjoner. Vår innsikt og analyse er basert på bransjeerfaring, sterk fagkompetanse og et omfattende nettverk av samarbeidspartnere. Vi er blant Norges ledende uavhengige samfunnsøkonomiske analysemiljøer og våre medarbeidere har erfaring fra offentlig forvaltning, forsknings- og analysemiljøer og næringslivet. Vi tilbyr analyse og rådgivning som del av regulatoriske prosesser, utredning av konseptvalg, kvalitetssikring, nytte-/kostnadsanalyser, sektoranalyser og evalueringer.

Kvalitetssikring av statlige investeringsprosjekter

Det er etablert en ordning med ekstern kvalitetssikring av statlige investeringsprosjekter med en antatt kostnad over 750 mill. kr. Ordningen omfatter kvalitetssikring av konseptvalg (KS 1) og kvalitetssikring av kostnadsoverslag og styringsunderlag (KS 2). Atkins, Oslo Economics og Promis har sammen en rammeavtale med Finansdepartementet innen kvalitetssikring.

Oppdragsgiver	Finansdepartementet og Nærings- og fiskeridepartementet
Kontaktpersoner	Peder Berg, Finansdepartementet og Lidia Logacheva/Karl G. Johannesen, Nærings- og fiskeridepartementet
Rapportnavn	KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall. Kvalitetssikring (KS1) utarbeidet på oppdrag fra Finansdepartementet og Nærings- og Fiskeridepartementet
Rapportnummer	
Dato	18. mars 2016
Utarbeidet av	Atkins og Oslo Economics
Kontaktinformasjon	Oppdragsleder Erik Magnus Sæther, Oslo Economics, ems@osloeconomics.no , +47 940 58 192

KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall

Vedlegg 2 – Gjennomføring av oppdrag

Innhold

1.	Bakgrunn	5
2.	Dokumenter til kvalitetssikring	6
2.1.	Generelle prosjektdokumenter	6
2.2.	Dokumenter mottatt underveis i KS1	6
3.	Tidsplan og hovedaktiviteter	7
4.	Interessentmøter	8
4.1.	Agenda for interessentmøtene	8
4.2.	Oppsummering av interessentmøtene	10
4.2.1.	Behov knyttet til oppbevaring av radioaktivt avfall	10
4.2.2.	Kommentarer til KVV – Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall	10
5.	Prosjektgruppemøter og informasjonsinnhenting	11

1. Bakgrunn

Nærings- og fiskeridepartementet (NFD) har fått utarbeidet en konseptvalgutredning (KVU) om oppbevaring av norsk radioaktivt avfall. KVUen ble ferdigstilt i januar 2015.

Gjennom rammeavtale om kvalitetssikring av store statlige investeringer har Atkins Norge og Oslo Economics gjennomført en ekstern kvalitetssikring (KS1) av KVUen. Kvalitetssikringen er gjennomført i perioden juni 2015 til april 2016.

I forbindelse med kvalitetssikringen har vi gjennomført møter med en rekke interessenter og informanter. I dette vedlegget gir vi en oversikt over dokumentene som er kvalitetssikret, hvilke aktører vi har vært i kontakt med, og en samlet oppsummering av møtene.

2. Dokumenter til kvalitetssikring

2.1. Generelle prosjektdokumenter

1. KVV Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall
2. Presentasjon KVV Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall

Vedlegg

1. Technical Task Report 1, Radioactive waste inventory in Norway
2. Technical Task Report 2, Options for treatment of metallic uranium
3. Technical Task Report 3, Storage concepts for the Norwegian inventory of spent fuel and LL-ILW
4. Technical Task Report 4, Safety and security and emergency preparedness; localization aspects
5. Technical Task Report 5: Protection of the environment, natural resources and society
6. Technical Task Report 6: Operation of the intermediate storage facility
7. Utdypninger av tilstand til og muligheter for håndtering av brukt brensel med dårlig lagringsstabilitet
8. Om konseptvalgutredningen
9. Beskrivelse av alternativer til analysen
10. Kostnadsmodellen
11. Behovsanalysen
12. Referanser

2.2. Dokumenter mottatt underveis i KS1

1. ISRN, *Management of Spent Fuel coming from Norwegian Research Reactors - Analysis of Possible Options for Short-, Medium- and Long-Term Periods from the Point of View of Safety.*
2. Mike Thorne and Associates Ltd., *An Analysis of Options for the Management of Norwegian Spent Fuels*
3. Dade Moeller, *Independent Evaluation of Options for Management of Norwegian Spent Research Reactor Fuel*

3. Tidsplan og hovedaktiviteter

Følgende hovedaktiviteter er gjennomført

- Signering av avrop med Finansdepartementet og Nærings- og Fiskeridepartementet, desember 2014
- Oppstartsmøte med Nærings- og fiskeridepartementet, 23. juni 2015
- Oppstartsmøte med KVVU-prosjektet og oppdragsgiver, hvor KVVU-en ble presentert, 10. september 2015
- Befaring til IFEs anlegg på Kjeller, 7. og 9. oktober
- Fremleggelse av Memo 01 – Vurderinger etter innledende fase, for NFD og FIN, 12. oktober 2015
- Befaring til IFEs anlegg i Halden 3. november
- Befaring til KLDRA Himdalen, 19. november
- Presentasjon av status og foreløpige vurderinger samt signering av oppdaterte avrop, 16. desember 2015
- Møter med interessenter og informanter, oktober 2015 – januar 2016
- Kostnads- og usikkerhetsworkshops med KVVU-prosjekt og Atkins Energy, 26. november – 2. desember 2015
- Kvalitetssikrers presentasjon av resultater for oppdragsgivere, 29. februar 2016
- Kvalitetssikrers fremleggelse og oversendelse av endelig rapport, 15. april 2016

4. Interessentmøter

Vi har hatt møter med følgende interessenter:

- Institutt for energiforskning
- Nærings- og fiskeridepartementet
- Klima- og miljødepartementet
- Helse- og omsorgsdepartementet
- Statens strålevern
- Bellona
- Nasjonal sikkerhetsmyndighet
- Ife
- Halden kommune
- Skedsmo kommune
- Aurskog-Høland kommune

I tillegg har vi hatt korte samtaler på telefon med interessenter som ikke ønsket et eget møte, men hvor de fikk komme med synspunkter og innspill til KVVU.

4.1. Agenda for interessentmøtene

Interessentmøtene ble gjennomført med basis i en utarbeidet intervjuguide. Denne er beskrevet under.

Intervjuguide

Nærings- og fiskeridepartementet har fått utarbeidet to konseptvalgutredning på det nukleære området i Norge.

- Konseptvalgutredning – Fremtidig dekommisjonering av de nukleære anleggene i Norge
- Konseptvalgutredning – Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall

Atkins Norge AS og Oslo Economics kvalitetssikrer disse utredningene på oppdrag fra Nærings- og fiskeridepartementet og Finansdepartementet (KS1). Atkins UK vil bidra med teknisk ekspertise.

Som del av oppdraget gjennomfører vi intervjuer med sentrale interessenter. Intervjuenes formål er å sikre et bredest mulig informasjonsgrunnlag. Vi vil ta notater fra intervjuet, men disse vil kun være til vårt eget interne bruk. Det vil ikke bli utarbeidet noe referat fra møtet, og det vil ikke bli sitert fra møtet uten at dette er avklart med informant. Følgende tema vil kunne være aktuelle å berøre som del av intervjuet:

Dekommisjonering

[Se KS1-rapport Fremtidig dekommisjonering av de nukleære anleggene i Norge]

Oppbevaring

Har du/dere kjennskap til konseptvalgutredningen, de utredede alternativene og anbefalt løsning?

Hva er deres overordnede vurdering av arbeidet som er utført?

Behov, mål, overordnede krav

Har din virksomhet/etat noen synspunkter på hva som er de viktigste hensynene og behovene man må ta hensyn til når man velger en lagringsløsning for radioaktivt avfall/brukt brensel?

Hva skal til for at du har tillit til en strategi for lagring av radioaktivt avfall/brukt brensel?

Mulighetsstudie og alternativanalyse

Opplever dere at alle relevante alternativ er utredet?

Er fordeler og ulemper med de vurderte løsningene tilstrekkelig belyst:

- Langtidslagring som i dag, 50-100 år framover
- Deponering i grunnfjell
- Reprosessering

Er følgende tema tilstrekkelig utredet?

- Miljøkonsekvenser
- Helsemessige konsekvenser
- Sikkerhet mot sabotasje og tyveri

KVU-en har begrenset alternativanalysen til å omhandle avfall som genereres ved dekommisjonering av de nukleære anleggene. Er det behov for å se dette spørsmålet i sammenheng med oppbevaring av annet radioaktivt avfall?

Er det spesielle hensyn (geologiske, miljømessige, sikkerhets- og samfunnsmessige forhold) som må tas ved lokalisering av ny lagerkapasitet og deponi, ved Kjeller og Halden og ved evt. nytt område for lagring?

Kostnad og usikkerhet

Opplever dere at kostnadsanslagene er realistiske?

Samfunnsøkonomisk analyse

Opplever dere at den samfunnsøkonomiske analysen har rimelige vurderinger og riktig anbefaling? Er det effekter som er utelatt?

Alternativanalysen leder til forskjellig endepunkt for de ulike løsningene, enten fortsatt lagring eller deponi. Har dette betydning for rangeringen av løsningsalternativene?

Planlegging og gjennomføring

Hvilke utfordringer mener du kan oppstå under planlegging og gjennomføring av lagring (av brukt brensel), og etterpå?

Utredningsprosess

Opplever du/dere at utredningsprosessen har vært hensiktsmessig?

Er det gitt mulighet til å fremme innspill til utredningene?

Er det ting du/dere tenker kunne vært gjort annerledes i utarbeidelse av KVU-en?

Det er også tidligere vært utarbeidet ulike utredninger på feltet. Hva er de viktigste hindringene for å fatte en forankret beslutning om plan for oppbevaring?

Andre innspill?

Har dere andre innspill?

4.2. Oppsummering av interessentmøtene

4.2.1. Behov knyttet til oppbevaring av radioaktivt avfall

- Saker som omhandler radioaktivt avfall er egnet for å skape stor trygghet i befolkningen, selv om det ikke er objektivt grunnlag for det. Det er avgjørende med god kommunikasjon som er enkel for folk å forstå.
- Anlegg for oppbevaring av radioaktivt avfall bør ikke lokaliseres til befolkningstette områder.
- Det er uheldig dersom man velger en løsning i dag som påfører fremtidige generasjoner kostnader.
- Utsettelse av beslutning medfører økte kostnader
- En uavhengig organisasjon bør opprettes for å håndtere oppbevaring. Dagens strategi for oppbevaring av radioaktivt avfall er ikke i tråd med forurensar betaler-prinsippet, og gir ikke incentiver til å redusere avfallsmengden for produsentene.
- Ekstra infrastruktur er nødvendig ved IFE for å håndtere drift og behandling av avfall parallelt, spesielt om reaktordriften fortsetter.
- Dagens lagre er ikke tilfredsstillende i et hundreårsperspektiv.
- Lagerkapasiteten ved IFE vil ha betydning for muligheten for fremtidig drift på forsvarlig vis.
- Foreløpig er det uklart hvor alvorlig tilstanden til det ustabile brenselet er, pågående inspeksjon kan avdekke forhold som krever umiddelbare tiltak.
- Dagens regler for friklassing av radioaktivt avfall gjør at den fysiske kapasiteten i KLDRA Himdalen fylles opp i et raskt tempo, mens aktivitetsnivået er langt lavere enn hva som er tillatt. Det er behov for endringer i regelverket som tillater at enkelte kortlivede avfallstyper friklasseres etter at aktiviteten har henfalt, for å utnytte kapasiteten i lagre og deponi bedre.
- Noen er av oppfatningen at miljøvirkningene ved reprosessering er betydningsfulle. Koblingen til drift av atomkraftverk bidrar til den negative virkningen reprosessering vil ha. Andre fremhever at miljøpåvirkningene av reprosessering ved f.eks. La Hague ikke går ut over hva som er tillatt etter fransk lov og internasjonale konvensjoner.
- Norge bør ta hånd om sitt eget avfall, og dersom brensel sendes til utlandet for reprosessering bør mest mulig av resulterende avfall hentes tilbake. Dersom plutonium og uran separeres, er den beste løsningen at materialene gjenbrukes til stabilt MOX-brensel, som kan hentes tilbake til Norge og tas hånd om trygt her.

4.2.2. Kommentarer til KVV – Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall

- Behandling av det ustabile brukte brenselet er et kritisk tema som bør gjennomføres uavhengig av politisk behandling av mer generelle spørsmål knyttet til radioaktivt avfall.
- Spørsmål knyttet til miljø- og helsemessige konsekvenser er tilstrekkelig dekket i KVV-en, mer inngående undersøkelser vil gjøres i senere faser, i konsekvensutredning etter plan- og bygningsloven.
- Alternativene som innebærer fortsatt lagring er ikke fullverdige alternativer, da de ikke fjerner behovet for ytterligere tiltak for å oppbevare brenselet trygt i fremtiden.
- Det er få interessenter som har direkte kommentarer til kostnads- og usikkerhetsanalysene gjort i KVV-en. Flere mener dypdeponi er en svært kostbar løsning for det norske avfallet.

5. Prosjektgruppemøter og informasjonsinnhenting

KS1-gruppen har i løpet av prosjekttiden gjennomført flere prosjektgruppemøter.

Vi har gjennomført informasjonsinnhentingsmøter med følgende informanter. Ved de fleste møtene har både dekommisjonering av nukleære anlegg og oppbevaring av radioaktivt avfall blitt diskutert.

- Erling Stranden
- Pål Bergan
- Svensk kärnbränslehantering (SKB)
- Posiva Oy
- Dansk Dekommisjonering
- Areva
- Studsvik
- DNV-GL



ATKINS

oslo**economics**

KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall

Vedlegg 2 Usikkerhetsanalyse

**Kvalitetssikring (KS1) utarbeidet på oppdrag fra
Finansdepartementet og Nærings- og
Fiskeridepartementet**

15. april 2016



ATKINS

Atkins er et av verdens mest respekterte konsultentselskaper innen prosjektledelse og engineering av komplekse prosjekter. Vi verdsetter langsiktig samarbeid med våre kunder og partnere, og gjør vårt ytterste for å bidra til bærekraftig utvikling og vekst til beste for våre kunder og samfunnet – lokalt og globalt.

Atkins Norge er et av Norges ledende konsultentselskaper innen rådgivning, beslutningsstøtte, ledelse og styring av prosjekter. Vår kjernekompetanse er prosjektarbeid, og vi har siden oppstarten av Terramar i 1987 hatt sentrale roller i planlegging og gjennomføring av noen av de mest krevende prosjektene i Norge. Blant våre kunder finnes en rekke offentlige etater og de største aktørene i norsk næringsliv. Med virkning fra 2014 sluttet Terramar seg til Atkins – en av verdens største konsulent- og rådgivningsvirksomheter med ca. 18000 ansatte, hvorav ca. 700 i Skandinavia. Selskapet har sitt hovedkontor i Storbritannia og er notert på London Stock Exchange.

osloeconomics

Oslo Economics utreder økonomiske problemstillinger og gir råd til bedrifter, myndigheter og organisasjoner. Vår innsikt og analyse er basert på bransjeerfaring, sterk fagkompetanse og et omfattende nettverk av samarbeidspartnere. Vi er blant Norges ledende uavhengige samfunnsøkonomiske analysemiljøer og våre medarbeidere har erfaring fra offentlig forvaltning, forsknings- og analysemiljøer og næringslivet. Vi tilbyr analyse og rådgivning som del av regulatoriske prosesser, utredning av konseptvalg, kvalitetssikring, nytte-/kostnadsanalyser, sektoranalyser og evalueringer.

Kvalitetssikring av statlige investeringsprosjekter

Det er etablert en ordning med ekstern kvalitetssikring av statlige investeringsprosjekter med en antatt kostnad over 750 mill. kr. Ordningen omfatter kvalitetssikring av konseptvalg (KS 1) og kvalitetssikring av kostnadsoverslag og styringsunderlag (KS 2). Atkins, Oslo Economics og Promis har sammen en rammeavtale med Finansdepartementet innen kvalitetssikring.

Oppdragsgiver	Finansdepartementet og Nærings- og fiskeridepartementet
Kontaktpersoner	Peder Berg, Finansdepartementet og Lidia Logacheva/Karl G. Johannesen, Nærings- og fiskeridepartementet
Rapportnavn	Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall. Kvalitetssikring (KS1) utarbeidet på oppdrag fra Finansdepartementet og Nærings- og Fiskeridepartementet
Dato	15.04.2016
Utarbeidet av	Atkins Norge og Oslo Economics
Kontaktinformasjon	Oppdragsleder Erik Magnus Sæther, Oslo Economics, ems@osloeconomics.no , +47 940 58 192

Innholdsfortegnelse

1.	Grunnlag og gjennomføring	5
1.1.	Innledning	5
1.2.	Prosess	6
1.2.1.	Deltakere fellessamling	6
1.2.2.	Nye kostnadstall fra Areva - reprosessering	7
1.2.3.	Nye kostnadstall fra Posiva - dypdeponi	7
2.	KVUens basiskalkyler og usikkerhetsanalyse	8
2.1.	Basiskalkyler	8
2.2.	Estimatusikkerhet KVU	9
2.3.	Usikkerhetsdrivere KVU	9
2.4.	Resultater fra usikkerhetsanalyse KVU	10
3.	Basiskalkyle KS1	11
3.1.	Alternativer og scenarier	11
3.2.	Kvalitetssikrers kostnadselementer	13
3.2.1.	Planlegging tidligfase	13
3.2.2.	Reprosessering	13
3.2.3.	Fysisk kondisjonering	13
3.2.4.	Forberedende arbeider deponering	14
3.2.5.	Mellomlager – transportable lagringsbeholdere og lagerbygg/tunnel	14
3.2.6.	Nytt KLDRA	14
3.2.7.	Dypdeponi	15
4.	Kvalitetssikrers usikkerhetsanalyse	16
4.1.	Forutsetninger for usikkerhetsanalysen	16
4.2.	Metodikk	16
4.3.	Usikkerhetsspenn estimatusikkerhet	18
4.3.1.	Kommentarer til estimatusikkerhet KS1	19
30 %	21	
4.4.	Usikkerhetsdrivere	22
4.5.	Beskrivelser usikkerhetsdrivere	23
4.5.1.	Marked Bygg	23
4.5.2.	Marked Nukleær	23
4.5.3.	Teknisk modenhet	24
4.5.4.	Prosjektstyring	24
4.5.5.	Lover og forskrifter	24
4.5.6.	Krav fra interessenter	24
4.5.7.	Gjennomføring	25
4.6.	Resultater fra usikkerhetsanalysen	26
4.6.1.	Resultattabell	26
4.6.2.	S-kurver	27
4.6.3.	Tornadodiagram	29

1. Grunnlag og gjennomføring

1.1. Innledning

Dette vedlegget inneholder en gjennomgang av basiskalkylene for investeringskostnader og usikkerhetsanalysene i både KVVU og KS1 – Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall.

KS1-oppdraget knyttet til oppbevaring av norsk radioaktivt avfall er ulikt mange andre KS1-oppdrag, fordi det i dette KS1-oppdraget er gjort uvanlig store endringer i basiskalkylen som ble benyttet i KVVU-en. Disse endringene medfører at det gir lite mening å sammenligne kalkyler og usikkerhetsanalyse fra KVVU-en, med de som er utarbeidet i KS1.

Endringene i basiskalkylene skyldes i hovedsak at man i arbeidet med KS1 har fått inn sikrere estimer knyttet til gjennomføringen av de største kostnadspostene i prosjektet. KS1-teamet har gjennom kommunikasjon med Areva i Frankrike og Posiva i Finland bygd opp en basiskalkyle som viser de forventede kostnadene ved å gjennomføre en reprosesering av det norske atombrenselet, og etablering av et anlegg hvor dette kan lagres og deponeres.

KS1-teamet har underveis i arbeidet hatt bistand fra ekspertise i Atkins Energy UK til å belyse og besvare de nukleærfaglige problemstillinger man har støtt på. Representanter fra Atkins Energy UK var også til stede i fellessamlingen som ble gjennomført i forbindelse med KS1-teamets uavhengige usikkerhetsanalyse. De har også bidratt med en vurdering av usikkerhetsanalysen som foreligger i KVVU-rapporten, og de estimatene som er benyttet der.

Dette vedlegget omhandler kun usikkerhet i investeringskostnadene, driftskostnader behandles under Samfunnsøkonomisk analyse.

1.2. Prosess

I arbeidet med basiskalkylen og usikkerhetsanalysen ble det gjennomført en todagers fellessamling. Her ble usikkerhetsbildet i prosjektet, slik det presenteres i KVUen, gjennomgått av KS1-teamet. I tillegg til KS1-teamet var også nukleær ekspertise fra Atkins Energy, representanter fra IFE og de som har vært involvert i KVU-arbeidet tilstede. Deltakerne i fellessamlingen er listet opp i Tabell 1 nedenfor. Dag én ble i all hovedsak brukt på dekommisjoneringsprosjektet, mens dag to ble brukt til å diskutere lagringsprosjektet.

Arbeidet med usikkerhetsanalysen er påvirket av at relevante kostnadsestimer først ble tilgjengelig sent i oppdraget. Dette gjelder spesielt kostnadsestimer knyttet til sentrale poster i kalkylen; reprosessering, oppbevaringsbeholdere og dypdeponi.

Kostnadsestimatene som kom KS1-teamet i hende i etterkant av fellessamlingen har blitt drøftet sammen med ekspertisen i Atkins Energy.

1.2.1. Deltakere fellessamling

Tabell 1 - Deltakerliste fellessamling

Navn	Firma	Rolle	Tirsdag 01.12.15	Onsdag 02.12.15
Nicolaj Tidemand	DNV GL	Usikkerhetsanalyse KVU		X
Sophie Davidsson	DNV GL	Usikkerhetsanalyse KVU	X	
Per Lidar	Studsvik	Seniorrådgiver radavfall og dekommisjonering KVU	X	
Sture Nordlinder	Studsvik	Seniorrådgiver oppbevaring av radioaktivt avfall KVU		X
Barbara C. Oberländer	IFE	Forskningsjef		X
Peter Bennett	IFE	Avdelingssjef		X
Ole Christen Reistad	IFE	Sikkerhetssjef	X	X
Erlend Larsen	IFE	Overingeniør	X	
Sverre Hval	IFE	Seksjonsleder	X	
Tony Bean	Atkins UK	Teknisk rådgiver nukleær	X	X
Hal Hughes	Atkins UK	Teknisk rådgiver nukleær	X	X
Eirik Magnus Sæther	Oslo Economics	Oppdragsleder Lagring		X
Eivind Søraa	Oslo Economics	Kvalitetssikrer	X	X
Ragnhild Haugli Bråten	Oslo Economics	Kvalitetssikrer		X
Finn Gjerull Rygh	Oslo Economics	Kvalitetssikrer	X	
Torolv Bjørnsgaard	Atkins Norge	Oppdragsleder Dekommisjonering	X	
Kristine T. Strand	Atkins Norge	Kvalitetssikrer	X	X
Ørjan R. Kristiansen	Atkins Norge	Kvalitetssikrer	X	X
Jan Rune Baugstø	Atkins Norge	Kvalitetssikrer	X	X

1.2.2. Nye kostnadstall fra Areva - repressering

Kostnadene knyttet til repressering av brukt brensel er et betydelig kostnadsbidrag i samtlige alternativer, unntatt 0-alternativet. På verdensbasis er det kun et fåtall leverandører som tilbyr denne type tjenester. Så langt KS1-teamet kjenner til, er det snakk om anlegg i Storbritannia (Sellafield), Russland (Mayak), Frankrike (La Hague) og et anlegg i Japan. KVVU-ens kostnadstall var basert på et tilbud fra den russiske leverandøren som driver anlegget i Mayak. KS1-teamet har imidlertid vurdert det slik at dette tilbudet i betydelig grad undervurderer de reelle kostnadene knyttet til repressering, og at repressering ved dette anlegget vil kunne være vanskelig å gjennomføre.

KS1-teamet har på vegne av NFD vært i kontakt med Areva, som er operatør på anlegget i La Hague, Frankrike. Areva har gitt KS1-teamet et estimat på kostnadene knyttet til repressering av det norske brenselet, samt transport tur-retur Frankrike. Dette estimatet er betydelig høyere enn estimatet man fikk fra Mayak i arbeidet med KVVUen. Estimaten fra Areva er gitt i vedlegg 2.1.

1.2.3. Nye kostnadstall fra Posiva - dypdeponi

En annen stor kostnadspost i basiskalkylen, er kostnadene knyttet til planlegging og etablering av et dypdeponi for repressert brensel og annet langlivet radioaktivt avfall.

Her har KS1-teamet vært i kontakt med aktører i både Sverige (Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB) og Finland (Posiva Oy), hvor dypdeponier for atomavfall nå er under etablering. SKB og Posiva har ansvar for utredning og bygging av dypdeponiene i hhv. Sverige og Finland.

Arbeidet med det svenske deponiet har pågått over flere tiår, hvilket har resultert i en ekstremt kostbar planleggings- og lokaliseringsprosess. Finland har tatt utgangspunkt i metodikken som er utviklet i Sverige, og har nå etablert første trinn av sitt dypdeponi, 500 meter under bakken. Dette blir verdens første dypdeponi for brukt atomavfall.

KS1-teamet har på bakgrunn av dette valgt å forholde seg til kostnadstall fra Posiva, siden det er de som har kommet lengst i utviklingen av sitt deponi. Dialogen med Posiva har gitt KS1-teamet en oversikt over kostnadene knyttet til etablering av det finske dypdeponiet, som er lokalisert i nærheten av atomkraftverket i Eurajoki. Det finske estimatet har deretter blitt skalert slik at de blir representative med tanke på det norske avfallsvolumet. Dette estimatet er gitt i vedlegg 2.2.

2. KVVUens basiskalkyler og usikkerhetsanalyse

2.1. Basiskalkyler

KVVU-ens usikkerhetsanalyse er bygd opp rundt tre ulike scenarier, hvor det innenfor hvert scenario er fire til seks ulike alternativer som kan velges. Scenariene og alternativene er definert slik:

- Scenarier:
 - Scenario Alfa – Nedstengning i slutten av analyseperioden (ca. 2100)
 - Scenario Beta – Umiddelbar nedstengning av begge reaktorer (ca. 2020)
 - Scenario Gamma: Umiddelbar nedstengning av én reaktor, fortsatt drift av den andre ut analyseperioden.
- Alternativer:
 - Alt. 1: Samlagring i Norge
 - Alt. 1a: Samlagring på ny lokasjon
 - Alt. 1b: Samlagring i Halden
 - Alt. 1c: Samlagring på Kjeller
 - Alt. 2: Deponi i Norge
 - Alt. 3: Internasjonalt samarbeid
 - Alt. 4: Reprosessering av alt brukt brensel

Basiskalkylene for scenario Alfa, Beta og Gamma, med tilhørende alternativer er vist i tabellene 2, 3 og 4 nedenfor.

Tabell 2 – Scenario Alfa

	Ref. alt	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 4
Totalkostnad	1 530	2 200	2 600	1 730
Investeringer	280	490	780	0
Behandling av brensel	20	30	330	480

Tabell 3 – Scenario Beta

	Ref. alt	Alt. 1a	Alt. 1b	Alt. 1c	Alt. 2	Alt. 4
Totalkostnad	1 800	1 360	1 220	1 230	1 860	750
Investeringer	270	440	290	360	1 050	30
Behandling av brensel	20	30	20	20	320	460

Tabell 4 – Scenario Gamma

	Ref. alt	Alt. 1a	Alt. 1c	Alt. 2	Alt. 4
Totalkostnad	1 540	1 680	1 130	2 280	1 240
Investeringer	290	450	380	940	20
Behandling av brensel	20	30	20	340	490

2.2. Estimatusikkerhet KVV

Tabell 5 nedenfor viser estimatusikkerheten på hovedpostene knyttet til investeringskostnadene i KVV-en.

Tabell 5 - Estimatusikkerhet KVV

Estimatusikkerhet KVV	p10	Basis	p90
Nytt mellomlager, industribygg	47 MNOK [-19 %]	58 MNOK	69 MNOK [19 %]
Nytt mellomlager, fjellanlegg	77 MNOK [-19 %]	94 MNOK	112 MNOK [19 %]
Casks - enhetspris	15 MNOK [-25 %]	20 MNOK	25 MNOK [25%]
Reposessering	262,5 MNOK [-25 %]	350 MNOK	290 MNOK [40 %]
Dypdeponi - prosjektering	225 MNOK [-55 %]	500 MNOK	1 200 MNOK [240 %]
Dypdeponi – byggekostnad	180 MNOK [-15%]	212 MNOK	245 MNOK
Dypdeponi – forsegling. Andel av byggekostnad.	50 %	65 %	80 %
Nytt KLDRA	98 MNOK [-23 %]	128 MNOK	160 MNOK [25 %]

2.3. Usikkerhetsdrivere KVV

Tabell 6 nedenfor viser usikkerhetsdriverne som ble benyttet i usikkerhetsanalysen i KVV-en. Kvalitetssikrer har på grunnlag av fellessamlingen og samtaler med Aktins Energy UK valgt å revidere oppsettet på usikkerhetsdriverne som er brukt i arbeidet med KS1. Kvalitetssikrers oppsett kan sees i kapittel 4.3.1.

Tabell 6 - Usikkerhetsdrivere KVV

Element	KVV – Ref.alt.			KVV – Alt. 1			KVV – Alt. 2			KVV – Alt. 4		
U1 - Uspesifisert	0 %	10 %	20 %	0 %	10 %	20 %	0 %	10 %	20 %	0 %	10 %	20 %
U2 - Marked og prisnivå	-20 %	0 %	20 %	-20 %	0 %	20 %	-20 %	0 %	20 %	-10%	0%	30%
U3 - Teknisk modenhet	-5 %	0 %	5 %	-5 %	0 %	5 %	-5 %	0 %	40%	-5%	0%	5%
U4 - Prosjektstyring	-15 %	0 %	15 %	-15%	0 %	20 %	-20 %	0 %	30 %	-10%	0%	10%
U5 - Nye lover og forskrifter	-5 %	0 %	5 %	-5 %	0 %	5 %	-10 %	0 %	10 %	-5%	0%	5%
U6 - Krav fra interessenter	0 %	5 %	10 %	0 %	5 %	10 %	0 %	5 %	10 %	0%	5%	10%

2.4. Resultater fra usikkerhetsanalyse KVV

Tabellene 7, 8 og 9 nedenfor viser resultatene fra KVV-ens usikkerhetsanalyse.

Tabell 7 - Resultater Scenario Alfa

	Ref. alt	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 4
Totalkostnad	1 530	2 200	2 600	1 730
Investeringer	280	490	780	0
Behandling av brensel	20	30	330	480
Overvåkning, drift og vedlikehold, OVD	1 230	1 680	1 490	1 250
Rel. stdv. (totalt)	18 %	16 %	21 %	18 %
Rel. stdv. (inv. og beh.)	25 %	24 %	33 %	31 %

Tabell 8 - Resultater Scenario Beta

	Ref. alt	Alt. 1a	Alt. 1b	Alt. 1c	Alt. 2	Alt. 4
Totalkostnad	1 800	1 360	1 220	1 230	1 860	750
Investeringer	270	440	290	360	1 050	30
Behandling av brensel	20	30	20	20	320	460
OVD	1 510	890	910	850	500	260
Rel. stdv. (totalt)	19 %	18 %	20 %	19 %	25 %	22 %
Rel. stdv. (inv. og beh.)	25 %	24 %	25 %	26 %	31 %	30 %

Tabell 9 - Resultater Scenario Gamma

	Ref. alt	Alt. 1a	Alt. 1c	Alt. 2	Alt. 4
Totalkostnad	1 540	1 680	1 130	2 280	1 240
Investeringer	290	450	380	940	20
Behandling av brensel	20	30	20	340	490
OVD	1 230	1 200	730	1 000	730
Rel. stdv. (totalt)	18 %	17 %	18 %	23 %	19 %
Rel. stdv. (inv. og beh.)	25 %	25 %	25 %	32 %	29 %

3. Basiskalkyle KS1

3.1. Alternativer og scenarier

I arbeidet med KS1 er Gamma-alternativet skrinlagt, men man vurderer fortsatt Alfa- og Beta-scenariene. Kvalitetssikrer har imidlertid endret benevnningen på de to gjenværende scenariene, slik at i dette vedlegget vil alfa- og beta-scenariet bli omtalt med følgende benevnning:

Alfa: Scenario sen nedstengning

Beta: Scenario tidlig nedstengning

Videre har arbeidet med KS1 ført til at man har måttet foreta en justering av alternativene som er benyttet i KVVU. Dette skyldes i all hovedsak at man i arbeidet med KS1 har innhentet ny kunnskap, slik at man har fastslått at det som i KVVU er beskrevet som *Alt. 4 – Reprosessering*, er en prosess man i varierende omfang er *nødt* til å gjennomføre uavhengig av hvilket alternativ man velger.

Arbeidet med KS1 har også ført til at man har konkludert at den eneste akseptable, permanente løsningen for avfallet er et dypdeponi. Dette fører videre til at man er nødt til å etablere ett eller flere mellomlager for oppbevaring av avfallet frem til dypdeponi er ferdigstilt.

Samtlige alternativ i KS1 innebærer derfor reprosessering i større eller mindre grad, etablering av ett eller flere mellomlagre og bygging av dypdeponi. Dette betyr at KVVU-ens alternativ 1, 2 og 3 er forkastet, mens man har videreført alternativ 4 – med ulik grad av reprosessering.

Alternativene som er brukt i usikkerhetsanalysen i KS1 er derfor bygget opp på følgende måte:

- Scenario sen nedstengning – Nedstengning i slutten av analyseperioden (ca. 2100)
- Scenario tidlig nedstengning – Umiddelbar nedstengning av begge reaktorer (ca. 2020)
- Alt. 0: Nullalternativet. Innebærer ompakking av brensel og etablering av nye mellomlagre i Halden og på Kjeller. Samt etablering av nytt KLDRA, tilsvarende dagens anlegg i Himdalen.
- Alt. I: Minimal reprosessering – kun metallisk brensel, mellomlager og dypdeponi.
- Alt. II: Reprosesser alt ustabil brensel, mellomlager og dypdeponi.
- Alt. IV: Full reprosessering av alt brensel, mellomlager og dypdeponi.

Tabell 10 nedenfor viser basiskalkylene for de ulike alternativene som er beskrevet over. Siden basiskalkylene er relativt like i oppbygning for begge scenariene velges det her å kun vise alternativenes kalkyler for Scenario sen nedstengning.

Tabell 10 - Basiskalkyler scenario sen nedstengning

	Alt. 0	Alt. I	Alt. II	Alt. IV
Tidligfase	0,0	25,0	25,0	25,0
Planlegging tidligfase	-	25,0	25,0	25,0
Reprosessering	60,0	1 699,1	2 575,4	4 364,8
Planleggingsarbeid før reprosessering	-	20,0	40,0	40,0
Bilateral avtale	-	10,0	20,0	20,0
Behandling av metallisk brensel	60,0	60,0	60,0	60,0
Transport inkl. leie av transportbeholdere	-	832,3	1 248,5	2 122,4
Reprosesseringskostnad fra Areva	-	776,8	1 206,9	2 122,4
Fysisk kondisjonering	0,0	120,0	120,0	120,0
Innstøping i betong	-	120,0	120,0	120,0
Forberedende arbeider deponering	0,0	330,0	220,0	130,0
Disposal Canisters brukt brensel	-	140,0	90,0	-
Disposal Canisters vitrifisert avfall	-	10,0	10,0	10,0
Ompakking til canisters	-	60,0	90,0	90,0
Transport	-	20,0	30,0	30,0
Fjerning av aluminiumskledning	-	100,0	-	-
Mellomlager - bygning eller tunnel	1 293,0	836,0	639,0	322,0
Lagerbygg eller tunnel inkl. prosjekteringskostnad	188,0	141,0	94,0	47,0
Dual Purpose Casks - Enhetspris	1 005,0	585,0	435,0	165,0
Dual Purpose Casks - Faste kostnader	100,0	100,0	100,0	100,0
Dekommisjonering av mellomlager	-	10,0	10,0	10,0
Nytt KLDRA	480,0	480,0	480,0	480,0
Planlegging	150,0	150,0	150,0	150,0
Bygging	300,0	300,0	300,0	300,0
Forsegling	20,0	20,0	20,0	20,0
Infrastruktur sikkerhet	10,0	10,0	10,0	10,0
Dypdeponi	0,0	6 859,5	6 859,5	6 686,4
Planlegging	-	2 359,6	2 359,6	2 359,6
Bygging	-	3 461,5	3 461,5	3 288,4
Forsegling	-	1 038,4	1 038,4	1 038,4
Sum	1 833,0	10 349,7	10 918,9	12 128,3

3.2. Kvalitetssikrers kostnadselementer

Dette kapitlet inneholder beskrivelser av kostnadselementene som er benyttet i KS1. Både hva kostnadselementet er sammensatt av, og hvordan KS1-teamet har kommet frem til de tallene som er benyttet i usikkerhetsanalysen.

3.2.1. Planlegging tidligfase

Beskrivelse:

Denne posten dekker kostnader knyttet til innledende planleggingsarbeider i Norge. Med dette menes kostnader som påløper IFE og relevante departementer i forbindelse med den innledende planleggingen av arbeidet med repressering og utvikling av mellomlager og dypdeponi.

Referanse til tallgrunnlag:

Denne posten er basert på input fra fellessamling og samtaler med Atkins Energy.

3.2.2. Repressering

Beskrivelse:

Gjennom KS1-arbeidet har man fått større klarhet i hvilke kostnader det er snakk om i forbindelse med repressering av det norske atomavfallet. KS1-teamet har vært i kontakt med en fransk leverandør av slike tjenester; Areva. De har bidratt med estimer knyttet til gjennomføring av selve represseringen, og kostnader knyttet til transport og oppbevaring i såkalte casks.

Represseringskapitlet i kalkylen består av følgende poster:

- **Planleggingsarbeid før repressering:** Planlegging av represseringsprosjektet, både i Norge og hos Areva.
- **Bilateral avtale:** Gjennomføring av repressering i Frankrike vil kreve en avtale mellom norske og franske myndigheter. Denne posten dekker disse kostnadene.
- **Behandling av metallisk brensel:** Før det eldste og mest ustabile brenselet kan sendes til repressering må man fjerne hydrider som har utviklet seg inne i de eldste brenselsstavene.
- **Transport inkl. leie av transportbeholdere:** Post som innbefatter alle kostnader knyttet til transport av avfall fra Norge til Frankrike, og tilsvarende retur av vitrifisert avfall fra anlegget i La Hague og tilbake til mellomlager i Norge.
- **Represseringskostnad fra Areva:** Denne posten inneholder kostnaden for selve represseringsarbeidet hos Areva.

Referanse til tallgrunnlag:

Kostnadsestimatet for repressering baserer seg på kommunikasjon med Areva, se vedlegg 2.1.

3.2.3. Fysisk kondisjonering

Beskrivelse:

Fysisk kondisjonering innebærer at thoriumbrensel o.l. hugges opp i småbiter før det has i skjermede tønner som fylles med betong. Posten dekker innkjøp av eget utstyr til gjennomføring av arbeidet, samt kostnader knyttet til gjennomføringen av prosessen.

Referanse til tallgrunnlag:

Kostnadsestimatet knyttet til fysisk kondisjonering er basert på innspill fra IFE og nukleær ekspertise i Atkins Energy UK.

3.2.4. Forberedende arbeider deponering

Beskrivelse:

- **Disposal Canisters brukt brensel – enhetspris:** Kobberbeholder til bruk i forbindelse med deponering av brukt brensel.
- **Disposal Canisters vitrifisert avfall – enhetspris:** Kobberbeholder til bruk i forbindelse med deponering av beholdere med vitrifisert avfall
- **Ompakking til canisters:** Når dypdeponiet er klart til å ta imot avfall, må dette pakkes om fra lagringsbeholdere og over i kobberbeholdere som skal benyttes i forbindelse med den endelige deponeringen.
- **Transport:** Kostnader til transport fra mellomlager til dypdeponi.
- **Fjerning av gammel aluminiumskledning:** Omkapsling og stabilisering av aluminiumskapslet oksidbrensel før deponering.

Referanse til tallgrunnlag:

Kostnadsestimatene knyttet til Disposal Canisters er basert på dokumentasjon fra Posiva, som har utviklet kobberbeholdere til bruk i sitt dypdeponi, samt diskusjoner i fellessamling.

3.2.5. Mellomlager – transportable lagringsbeholdere og lagerbygg/tunnel

Beskrivelse:

I påvente av at et dypdeponi skal stå ferdig må det etableres et mellomlager for brukt brensel. Dette er nødvendig i alle alternativer, men behovet for lagerkapasitet og varighet av lageret varierer mellom alternativene. Mellomlageret kan bygges både som et konvensjonelt lagerbygg og som tunnel. Det kan også være mulig å tilpasse et eksisterende bygg eller fjellanlegg.

Kostnadene består av følgende poster:

- **Lagerbygg eller tunnel inkl. prosjekteringskostnad:** Kostnad ved prosjektering og bygging av mellomlager for oppbevaring av returnert avfall og annet radioaktivt avfall.
- **Transportable lagringsbeholdere - Enhetspris:** Stykkpris for lagringsbeholdere.
- **Transportable lagringsbeholdere - Faste kostnader:** Fast kostnad knyttet til bestilling, design og lisensiering av lagringsbeholderne.
- **Dekommisjonering av mellomlager:** Kostnader knyttet til dekommisjonering av mellomlager når avfallet er flyttet over i dypdeponi.

Referanse til tallgrunnlag:

Faste kostnader og enhetspriser knyttet til lagringsbeholderne er estimert basert på innspill fra Areva, samt kommunikasjon med IFE, Atkins Energy UK og KVVU-ens utredere fra Westinghouse.

Kostnader knyttet til nytt lagerbygg er basert på anslag i Stranden-utvalgets rapport, oppjustert til dagens prisnivå.

Kostnad knyttet til dekommisjonering av mellomlager er basert på innspill fra nukleær ekspertise i Atkins Energy UK.

3.2.6. Nytt KLDRA

Beskrivelse:

Dette kapittelet innbefatter kostnadene ved bygging av et nytt anlegg tilsvarende dagens KLDRA i Himdalen

- **Planlegging:** Prosjekteringskostnader og kostnader knyttet til utredning av lokasjon.

-
- **Bygging:** Byggekostnader for fjellanlegg.
 - **Forsegling:** Kostnader for tilbakefylling og endelig forsegling av anlegget.
 - **Infrastruktur sikkerhet:** Hvis et nytt KLDRA skal kunne ta imot avfall på et høyere strålingsnivå enn dagens anlegg, vil dette kreve noe økte investeringer knyttet til sikring av anlegget.

Referanse til tallgrunnlag:

Dette kapittelet baserer seg på kostnadene KVVU-teamet har benyttet i sin analyse. De har i sitt arbeid benyttet faktiske byggekostnader fra etablering av eksisterende KLDRA.

3.2.7. Dypdeponi

Beskrivelse:

- **Planlegging:** Kostnader knyttet til utredning av plasseringen av et norsk dypdeponi, og prosjekteringen av dette.
- **Bygging:** Dypdeponiet består av en atkomsttunnel som fører ned til 500 meter under bakkenivå, og fjellhaller hvor avfallet skal deponeres. Byggekostnadene vil hovedsakelig bestå av kostnader til driving av tunnel med tilhørende infrastruktur (elektro, ventilasjon).
- **Forsegling:** Når avfallet er på plass i deponiet skal dette tilbakefylles og forsegles. Dette gjøres med en blanding av bentonittleire, sement og sprengmasser. Forseglingskostnadene antas å utgjøre 30 prosent av byggekostnadene. I KVVU ble denne posten estimert til 65 prosent av byggekostnadene, men KS1-teamet har med utgangspunkt i Posivas erfaringer justert dette ned til 30 prosent. Posiva poengterer at siden byggekostnadene for et dypdeponi innebærer mer enn å rent praktisk drive tunnelen, virker det rimelig å fri seg fra antakelsen om 65 %, og anta en lavere kostnad for forsegling.

Referanse til tallgrunnlag:

Estimatene for bygging av dypdeponi tar utgangspunkt i kostnadene for bygging av det finske dypdeponiet. KS1-teamet har tatt utgangspunkt i kostnadstall fra Posiva, knyttet til etablering av det finske dypdeponiet. Disse tallene har deretter blitt skalert slik at de tar hensyn til mengden norsk atomavfall. Kostnadsoppsettet for det finske anlegget kan sees i vedlegg 2.2.

4. Kvalitetssikrers usikkerhetsanalyse

Finansdepartementets rammeavtale om kvalitetssikring av statlige investeringsprosjekter setter krav til gjennomføring av en uavhengig usikkerhetsanalyse i KS1-arbeidet. Dette kapitlet inneholder en gjennomgang av kalkylene som er benyttet, hvilke forutsetninger som ligger til grunn for analysen, og en presentasjon av resultatene.

4.1. Forutsetninger for usikkerhetsanalysen

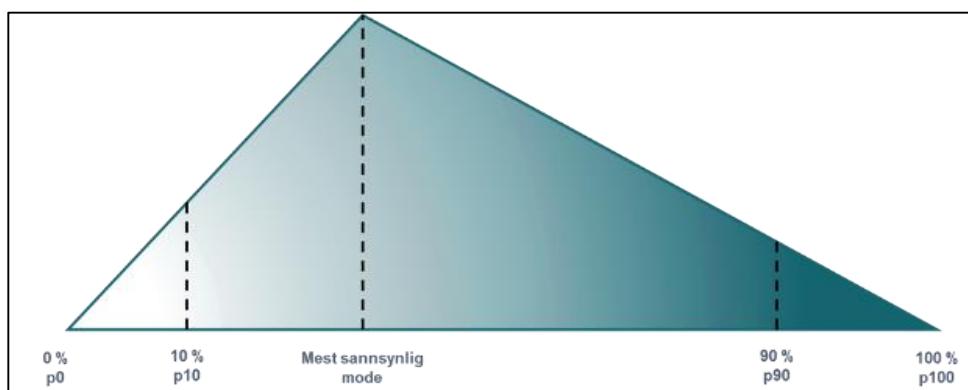
Usikkerhetsanalysen innbefatter kun investeringskostnader, driftskostnader medtas i Samfunnsøkonomisk analyse.

- Analysen tar ikke hensyn til større premissendringer.
- Valutausikkerhet er ikke vurdert i analysen. Denne vil være betydelig da den blir realisert langt frem i tid, men den er ikke medtatt i analysen da det vurderes at modellering av valutausikkerhet vil være basert på en rekke forutsetninger, og vil ikke endre rangering av konseptvalgene.
- Usikkerhetsanalysen er gjennomført eks. mva.
- Hendelser med liten sannsynlighet og store konsekvenser (ekstremhendelser) medtas ikke.
- Prisnivå for analysen: 2016
- Fremdriftsusikkerhet er ikke vurdert, men analysen reflekterer to ulike hovedscenarier (tidlig versus sen nedstenging av reaktorene).
- Finansieringskostnader er ikke medtatt i usikkerhetsanalysen.
- Bevilgningsusikkerhet er ikke medtatt.

4.2. Metodikk

Følgende typer usikkerhet er vurdert i analysen:

- Estimatusikkerhet er usikkerhet i rater, enhetspriser og mengder. Denne typen usikkerhet relaterer seg til de elementer som inngår i kalkylen. Usikkerheten uttrykkes ved tre verdier. Disse spenner fra optimistisk, via mest sannsynlige (basis), til pessimistisk. Som oftest settes den optimistisk verdien til 10%-nivå og den pessimistisk til 90%-nivå, se Figur 1. Usikkerhetsvurderingene knyttet til estimatusikkerheten kan sees i Tabell 11.
- Generelle forhold (usikkerhetsdrivere). Dette er overordnede usikkerheter som påvirker hele, eller deler av, prosjektet. Denne usikkerheten uttrykkes også med et spenn fra optimistisk, via mest sannsynlige til pessimistisk verdi. Generelle forhold modelleres direkte i MNOK, eller som en prosentandel av andre sumposter. Usikkerhetsvurderingene knyttet til usikkerhetsdriverne kan sees i Tabell 12.



Figur 1 – Estimering av usikkerhet

Selve usikkerhetsanalysen gjennomføres ved å benytte Monte Carlo-simuleringer. Dette er en anerkjent metode med stor internasjonal utbredelse. En Monte Carlo-simulering gjennomføres ved at modellen simuleres et bestemt antall iterasjoner (i dette tilfellet 5 000). For hver iterasjon simuleres hele modellen én gang, slik det er beskrevet nedenfor:

- For hver parameter (usikkerhetselement) gjøres det en tilfeldig trekning innenfor usikkerhetsspennet (trepunktsestimater og sannsynligheter som beskrevet over).
- Alle beregningene i modellen utføres og verdiene lagres. Dette representerer ett mulig utfall (én iterasjon) av prosjektet.
- En ny iterasjon gjennomføres.

Den resulterende tabellen, basert på 5 000 mulige utfall av modellen (prosjektet), gir en oversikt over prosjektets totale usikkerhetsspenn, forventningsverdi, p-verdier og standardavvik.

4.3. Usikkerhetsspenn estimatusikkerhet

Tabell 11 nedenfor viser usikkerhetsspennene som er benyttet i alternativ II, scenario sen nedstengning. Usikkerhetsspennene varierer noe for de ulike scenariene og alternativene, men siden det er snakk om relativt små forskjeller er det kun valgt å vise usikkerhetsspenn for ett alternativ her.

Tabell 11 - Usikkerhetsspenn estimatusikkerhet alternativ II - scenario sen nedstegning

Scenario sen nedstengning alternativ II	p10 [%]	Basis [MNOK]	p90 [%]
Tidligfase		25,0	
Planlegging tidligfase	-40 %	25,0	100 %
Reprosessering		2575,3	
Planleggingsarbeid før reprosessering	-25 %	40,0	50 %
Bilateral avtale	-25 %	20,0	50 %
Behandling av metallisk brensel	-33 %	60,0	33 %
Transport inkl. leie av transportbeholdere	-80 %	1 248,5	30 %
Reprosesseringskostnad fra Areva	-20 %	1 206,9	30 %
Fysisk kondisjonering		120,0	
Innstøping i betong	-60 %	120,0	10 %
Forberedende arbeider deponering		220,0	
Disposal Canisters brukt brensel	-25 %	90,0	25 %
Disposal Canisters vitrifisert avfall	-25 %	10,0	25 %
Ompakking til canisters	-25 %	90,0	50 %
Transport	-25 %	30,0	50 %
Mellomlager - bygning eller tunnel		639,0	
Lagerbygg eller tunnel inkl. prosjekteringskostnad	-15 %	94,0	15 %
Dual Purpose Casks - Enhetspris	-30 %	435,0	30 %
Dual Purpose Casks - Faste kostnader	-50 %	100,0	20 %
Dekommisjonering av mellomlager	-15 %	10,0	50 %
Nytt KLDRA	-20 %	480,0	30 %
Planlegging		150,0	
Bygging		300,0	
Forsegling		20,0	
Infrastruktur sikkerhet		10,0	
Dypdeponi		6859,5	
Planlegging	-50 %	2 359,6	80 %
Bygging	-20 %	3 461,5	30 %
Forsegling	-20 %	1 038,4	30 %
Sum		10 918,8	

4.3.1. Kommentarer til estimatusikkerhet KS1

I tabellene nedenfor beskrives kort vurderingene som ligger bak fastsettelsen av usikkerhetsspennene, samt stikkordsmessig hvilke potensielle oppsider og nedsider som er knyttet til elementet. Grunnet at prosjektet er komplekst, på et tidlig stadie og med få relevante referanseprosjekter å hente erfaringstall fra, er estimatpostene generelt beheftet med stor grad av usikkerhet sammenlignet med andre prosjekter på KS1-nivå.

Beskrivelsene som gis nedenfor gjelder for alternativ II – sen nedstengning.

Scenario sen nedstengning alternativ II			
Tidligfase	p10 [%]	Basis [MNOK]	p90 [%]
Planlegging tidligfase	-40 %	25,0	100 %
Kommentar: Betydelig usikkerhet knyttet til kostnadene i denne posten, det antas likevel at posten har en potensielt større nedside enn oppside, da det er mer sannsynlig at prosjektets kompleksitet fører til høyere kostnader fremfor lavere.			

Reprosessering	p10 [%]	Basis [MNOK]	p90 [%]
Planleggingsarbeid før reprosessering	-25 %	40,0	50 %
Kommentar: Som for tidligfaseplanleggingen. Bidrag til økte kostnader er leverandørsituasjon (få), og stor variasjon i ulike typer brensel			
Bilateral avtale	-25 %	20,0	50 %
Kommentar: Usikkerhetsspennet knyttet til utarbeidelse av en bilateral avtale for håndtering av brukt atombrensel vil potensielt ha en større nedside enn oppside, blant annet på grunn av prosjektets kompleksitet og leverandørsituasjon.			
Behandling av metallisk brensel	-33 %	60,0	33 %
Kommentar: Usikkerhetsspennet til dette elementet påvirkes av mengden brensel som må behandles før det sendes til reprosessering.			
Transport inkl. leie av transportbeholdere	-80 %	1 248,5	30 %
Kommentar: Anslag på leiepriser på transportbeholdere fra Areva overgår langt de estimerte kostnadene for selve reprosesseringen. Samtidig oppgir Areva at transportkostnadene normalt sett ikke skal overgå reprosesseringskostnaden. Basisen for transportkostnadene er derfor satt lik reprosesseringskostnaden, men med en betydelig oppside.			
Reprosesseringskostnad fra Areva	-20 %	1 206,9	30 %
Kommentar: Oppside: Større sikkerhet i avfallsmengder kan gi lavere kostnad ved bestilling Nedside: Leverandørsituasjon (få potensielle leverandører)			

Fysisk kondisjonering	p10 [%]	Basis [MNOK]	p90 [%]
Innstøping i betong	-60 %	120,0	10 %
Kommentar: Usikkerhet knyttet til pris for utstyr til kondisjoneringen.			

Forberedende arbeider deponering	p10 [%]	Basis [MNOK]	p90 [%]
Disposal Canisters brukt brensel (9stk. for alt. II)	-25 %	90,0	25 %
Kommentar: Grunnet kompleksiteten på anskaffelsen gis denne posten en like stor potensiell oppside som nedside.			
Disposal Canisters vitrifisert avfall (1stk. for alt. II)	-25 %	10,0	25 %
Kommentar: Grunnet kompleksiteten på anskaffelsen gis denne posten en like stor potensiell oppside som nedside.			
Ompakking til canisters	-25 %	90,0	50 %
Kommentar: Kompleks og krevende arbeidsoppgave, som vil ha en større potensiell nedside enn oppside.			
Transport	-25 %	30,0	50 %
Kommentar: Som for posten over.			

Mellomlager - bygning eller tunnel	p10 [%]	Basis [MNOK]	p90 [%]
Lagerbygg eller tunnel inkl. prosjekteringskostnad	-15 %	94,0	15 %
Kommentar: Dette er tradisjonell bygging, enten det er snakk om etablering av lagerbygg eller tunnel, hvilket gir posten relativt liten grad av usikkerhet.			
Dual Purpose Casks – Enhetspris (29stk. for alt. II)	-30 %	435,0	30 %
Kommentar: Grunnet kompleksiteten knyttet til denne anskaffelsen har denne posten stor grad av usikkerhet.			
Dual Purpose Casks - Faste kostnader	-50 %	100,0	20 %
Kommentar: Oppside: Nedside:			
Dekommisjonering av mellomlager	-15 %	10,0	50 %
Kommentar: Større oppside enn nedside, da det er mer sannsynlig at kostnadene knyttet til gjennomføringen av en slik dekommisjonering vil bli høyere, fremfor lavere.			

	p10 [%]	Basis [MNOK]	p90 [%]
Nytt KLDRA	-20 %	480,0	30 %
Kommentar: Hvilke typer avfall anlegget skal ta imot har innvirkning på kostnaden for anlegget. Høyere aktivitetsnivå på avfallet gjør kostnadene høyere.			
Planlegging		150,0	
Bygging		300,0	
Forsegling		20,0	
Infrastruktur sikkerhet		10,0	

Dypdeponi			
Planlegging	-50 %	2 359,6	80 %
Kommentar: Erfaringstallene fra Sverige og Finland viser at det er store kostnader knyttet til planlegging av et slikt deponi, og at usikkerhetsspennet er stort.			
Bygging	-20 %	3 461,5	30 %
Kommentar: Dette er i hovedsak kostnader knyttet til tradisjonell tunneldriving, men det at anlegget skal ta imot radioaktivt avfall er en fordyrende faktor, og det er derfor valgt å også gi denne posten et stort usikkerhetsspenn.			
Forsegling	-20 %	1 038,4	30 %
Kommentar: Stor usikkerhet knyttet til kostnadene rundt tilbakefylling og forsegling av dypdeponi, da man ikke har erfaringstall å forholde seg til. Det er rimelig å anta at posten har en større nedside enn oppside.			

4.4. Usikkerhetsdrivere

Et prosjekt på KS1-nivå vil alltid være beheftet med stor grad av usikkerhet. Dette vil gi seg særlig utslag i de vurderinger som er knyttet til usikkerhetsdrivere. I dette kapittelet vil de ulike usikkerhetsdriverne som påvirker prosjektet bli beskrevet.

På lik linje med estimatusikkerheten i prosjektet, har også usikkerhetsdriverne blitt endret som følge av at arbeidet med KS1 har bidratt til ny kunnskap om prosjektet.

Tabell 12 nedenfor viser en sammenstilling av usikkerhetselementene i KS1. Som det fremgår av tabellen er usikkerhetsspennene vurdert noe ulikt avhengig av hvorvidt det er snakk om 0-alternativ, tidlig, eller sen nedstengning. Vurderingene som ligger til grunn for hvordan usikkerhetsspennene er satt er beskrevet lenger nede i kapittelet.

Tabell 12 - Usikkerhetsdrivere

Element	KS1 0-alt.			KS1 Sen Nedstengning			KS1 Tidlig Nedstengning		
U1 - Marked bygg	-20 %	0 %	20 %	-20 %	0 %	20 %	-20 %	0 %	20 %
U1B - Marked nukleær	-10 %	5 %	40 %	-15 %	5 %	45 %	-10 %	5 %	40 %
U2 - Teknisk modenhet	-10 %	0 %	5 %	-20 %	0 %	5 %	-10 %	0 %	5 %
U3 - Prosjektstyring	-10 %	0 %	20 %	-20 %	0 %	30 %	-20 %	0 %	30 %
U4 - Lover og forskrifter	-5 %	0 %	10 %	-10 %	0 %	15 %	-5 %	0 %	10 %
U5 - Krav fra interessenter	0 %	5 %	10 %	0 %	5 %	10 %	0 %	5 %	10 %
U6 – Gjennomføring	5 %	10 %	20 %	5 %	10 %	30 %	5 %	10 %	30 %

Når det gjelder usikkerhetsspennene som er brukt på usikkerhetsdriverne i KS1 så er disse spennene fordelt på følgende tre kategorier:

Nullalternativ: Usikkerhetsspennene for de to 0-alternativene er vurdert å være likt både i *Scenario Tidlig nedstengning* og *Scenario Sen Nedstengning*.

Scenario sen nedstengning: Usikkerhetsspennene for alternativ I, II og IV i *Scenario Sen Nedstengning* er vurdert å være like.

Scenario tidlig nedstengning: Usikkerhetsspennene for alternativ I, II og IV i *Scenario Tidlig Nedstengning* er vurdert å være like.

Nedenfor beskrives de usikkerhetsdriverne hvor det er forskjeller i usikkerhetsspennene mellom 0-alternativ, *Scenario Tidlig nedstengning* og *Scenario Sen Nedstengning*. Disse er også markert med rødt i Tabell 12.

- U1B Marked Nukleær – Scenario Sen Nedstengning: Årsaken til at Scenario Sen Nedstengning har et større usikkerhetsspenn, er at investeringene i dette scenariet ligger langt fram i tid. Her vil blant annet kjøp av reprosesseringstjenester skje sent i analyseperioden. Det er derfor knyttet større usikkerhet til disse anskaffelsene enn de anskaffelser som vil bli gjort i scenario tidlig nedstengning.
- U2 Teknisk Modenhet – Scenario sen nedstengning: Her antas det at sannsynligheten for bedre tekniske løsninger øker, jo lenger ut i analyseperioden man kommer. Scenario sen nedstengning er derfor gitt en større potensiell oppside enn 0-alternativ og Scenario Tidlig Nedstengning.
- U3 Prosjektstyring – Nullalternativ: Siden nullalternativet innebærer et vesentlig mindre komplekst prosjekt enn de andre alternativene, har dette fått et lavere usikkerhetsspenn.

- U4 Lover og forskrifter – Scenario sen nedstengning: Her antas det også at den lange analyseperioden gir et større usikkerhetsspenn. Dette kan gi seg utslag både i form av større oppside, men også nedside. Oppsiden kan forklares med at man her får lenger tid på seg til å få på plass et regelverk som legger til rette for samarbeid mellom land. Nedside kan tilsvarende være at en økt sikkerhetspolitisk spenning vanskeliggjør multilateralt samarbeid om håndtering av atomavfall.
- U5 Gjennomføring – Nullalternativ: Som for U3 Prosjektstyring så antas det her at nullalternativet vil medføre et enklere prosjekt enn de øvrige alternativene, og med det også en enklere gjennomføringsfase.

4.5. Beskrivelser usikkerhetsdrivere

I de påfølgende delkapitlene gis en nærmere beskrivelse av hvilke aspekter ved prosjektet de ulike usikkerhetsdriverne virker inn på. Det er også vist tabellarisk hvordan usikkerhetsspennet for driveren er satt i hhv. nullalternativ og de to scenariene.

4.5.1. Marked Bygg

Dette elementet representerer markedsusikkerheten knyttet til konvensjonelle byggekostnader. I forbindelse med dette prosjektet betyr det bygging av mellomlager, da enten i form av tunnel eller som et konvensjonelt lagerbygg, samt driving av tunnel som skal benyttes som dypdeponi. Bygging av nytt KLDRA vil også berøres av markedssituasjonen innen byggenæringen.

Tabell 13 - Marked Bygg

	P10	Basis	P90
Nullalternativ	-20 %	0 %	20 %
Scenario sen nedstengning	-20 %	0 %	20 %
Scenario tidlig nedstengning	-20 %	0 %	20 %

4.5.2. Marked Nukleær

Dette elementet sier noe om usikkerheten knyttet til alle nukleære anskaffelser. Herunder finner man for eksempel casks og canisters, og anskaffelse av reprosesseringsjenester. Kvalitetssikrer anser dette elementet som sterk høyreskjev. Dette skyldes at det er få tilbydere på markedet, og at volumet av det norske avfallet er så lite at man risikerer at potensielle tilbydere ikke finner oppgaven interessant. Norges beholdning av ulike typer brensel er også en faktor som kan bidra til å øke kostnadene.

I tillegg er investeringene langt fram i tid, noe som ytterligere bidrar til at elementet er beheftet med stor usikkerhet.

Tabell 14 - Marked Nukleær

	P10	Basis	P90
0-alt	-10 %	5 %	40 %
Scenario sen nedstengning	-15 %	5 %	45 %
Scenario tidlig nedstengning	-10 %	5 %	40 %

4.5.3. Teknisk modenhet

Dette er et element som antas å ha større oppside enn nedside som følge av at teknologiske nyvinninger kan forenkle prosjektgjennomføringen. I tillegg er det sannsynlig at en prosjektgjennomføring lenger ut i analyseperioden i større grad vil kunne påvirkes positivt av teknologiutvikling og tekniske nyvinninger.

Tabell 15 - Teknisk modenhet

	P10	Basis	P90
0-alt	-20 %	0 %	5 %
Scenario sen nedstengning	-20 %	0 %	5 %
Scenario tidlig nedstengning	-10 %	0 %	5 %

4.5.4. Prosjektstyring

Gitt omfanget av prosjektet, både teknisk og med tanke på varighet, vil god prosjektstyring være kritisk for hvorvidt et slikt prosjekt lykkes eller ikke. Dette er en usikkerhetsdriver som berører hele prosjektet, og som derfor har en potensielt stor innvirkning på sluttkostnaden. Usikkerhetsspennet som er satt for denne driveren illustrerer tydelig hvilke konsekvenser god eller dårlig prosjektstyring vil kunne ha for sluttkostnaden.

Tabell 16 - Prosjektstyring

	P10	Basis	P90
0-alt	-10 %	0 %	20 %
Scenario sen nedstengning	-20 %	0 %	30 %
Scenario tidlig nedstengning	-20 %	0 %	30 %

4.5.5. Lover og forskrifter

Hvordan lover og forskrifter er utformet vil ha stor innvirkning på prosjektgjennomføringen. Et lovverk som i liten grad er tilpasset omfanget av et slik prosjekt, vil potensielt kunne forsinke og fordyre et prosjekt av denne typen i betydelig grad. Dialog med lovgivere og regulerende etater fra et tidlig stadie vil på sin side kunne bidra til at lover og regelverk legger til rette for at et prosjekt av dette omfanget kan gjennomføres på en rasjonell måte.

Tabell 17 - Lover og forskrifter

	P10	Basis	P90
0-alt	-5 %	0 %	10 %
Scenario sen nedstengning	-10 %	0 %	15 %
Scenario tidlig nedstengning	-5 %	0 %	10 %

4.5.6. Krav fra interessenter

Denne usikkerhetsdriveren antas å ha en lik fordeling, uansett hvilket scenarie og alternativ det er snakk om.

Tabell 18 - Krav fra interessenter

	P10	Basis	P90
0-alt	0 %	5 %	10 %
Scenario sen nedstengning	0 %	5 %	10 %
Scenario tidlig nedstengning	0 %	5 %	10 %

4.5.7. Gjennomføring

Dette elementet er knyttet til selve prosjektgjennomføringen, og de usikkerhetsmomenter som påvirker denne. Eksempelvis er dette elementet knyttet til bygging av mellomlager, driving av eventuelle tunneler og andre bygningsarbeider.

Tabell 19 - Gjennomføring

	P10	Basis	P90
0-alt	5 %	10 %	20 %
Scenario sen nedstengning	5 %	10 %	30 %
Scenario tidlig nedstengning	5 %	10 %	30 %

4.6. Resultater fra usikkerhetsanalysen

4.6.1. Resultattabell

En oppsummering av resultatene fra kvalitetssikrers usikkerhetsanalyse er vist i Tabell 20 nedenfor. Her ser man at alternativ IV er det dyreste alternativet i begge scenariene, mens 0-alternativet er klart billigst. Alternativ II er KS1-rapportens anbefalte alternativ, dette er markert med grått.

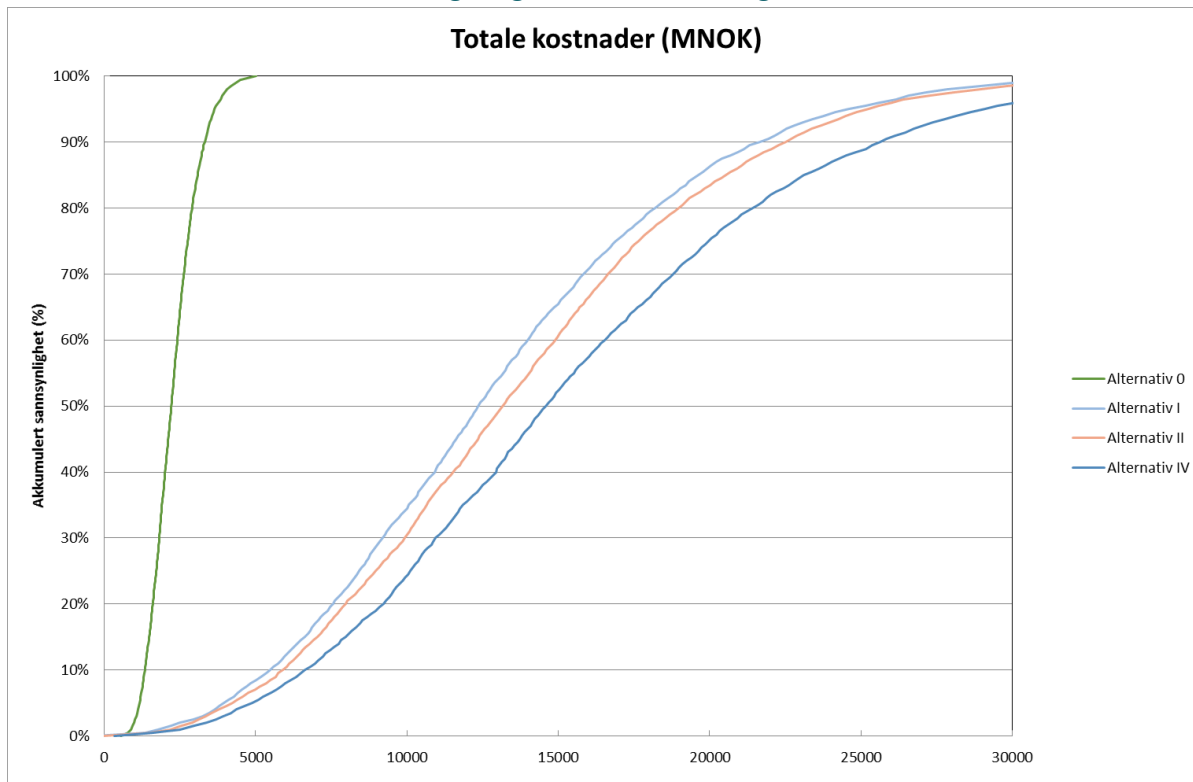
Som det fremgår av tabellen så er det en betydelig kostnadsøkning i KS1, sammenlignet med KVVU. Som beskrevet tidligere i vedlegget så skyldes dette i all hovedsak at man i arbeidet med KS1 har fått økt kunnskap om omfanget av prosjektet, og sikrere estimater på de største kostnadspostene. Det skal likevel sies at det er et stort og komplekst usikkerhetsbilde i prosjektet, noe standardavvikene til de ulike alternativene reflekterer. Disse ligger i overkant av 30 prosent for 0-alternativene, og mellom 40 – 48 prosent for alternativ I, II og IV. Et nivå kvalitetssikrer mener er rimelig for et prosjekt som er på et tidlig stadie, har få relevante referanseprosjekter og med stor usikkerhet knyttet til den videre gjennomføringen.

Tabell 20 - Resultattabell usikkerhetsanalyse

	Scenario sen nedstengning [MNOK]				Scenario tidlig nedstengning [MNOK]			
	Alt. 0	Alt. I	Alt. II	Alt. IV	Alt. 0	Alt. I	Alt. II	Alt. IV
Basis	1 833	10 350	10 919	12 128	1 094	9 803	9 913	10 378
Forventningsverdi	2 280	13 050	13 730	15 490	1 360	12 690	12 750	13 260
10 %	1 340	5 470	5 890	6 630	830	6 070	6 170	6 530
15 %	1 480	6 620	7 040	7 970	910	6 940	7 160	7 530
50 %	2 220	12 350	13 160	14 590	1 330	12 100	12 060	12 550
85 %	3 080	19 630	20 550	23 120	1 820	18 390	18 580	19 300
90 %	3 310	21 650	22 510	25 630	1 950	20 170	20 190	20 900
Standardavvik	33 %	48 %	47 %	48 %	32 %	43 %	43 %	42 %
Sannsynlighet for Basis	31 %	37 %	37 %	36 %	29 %	34 %	34 %	34 %

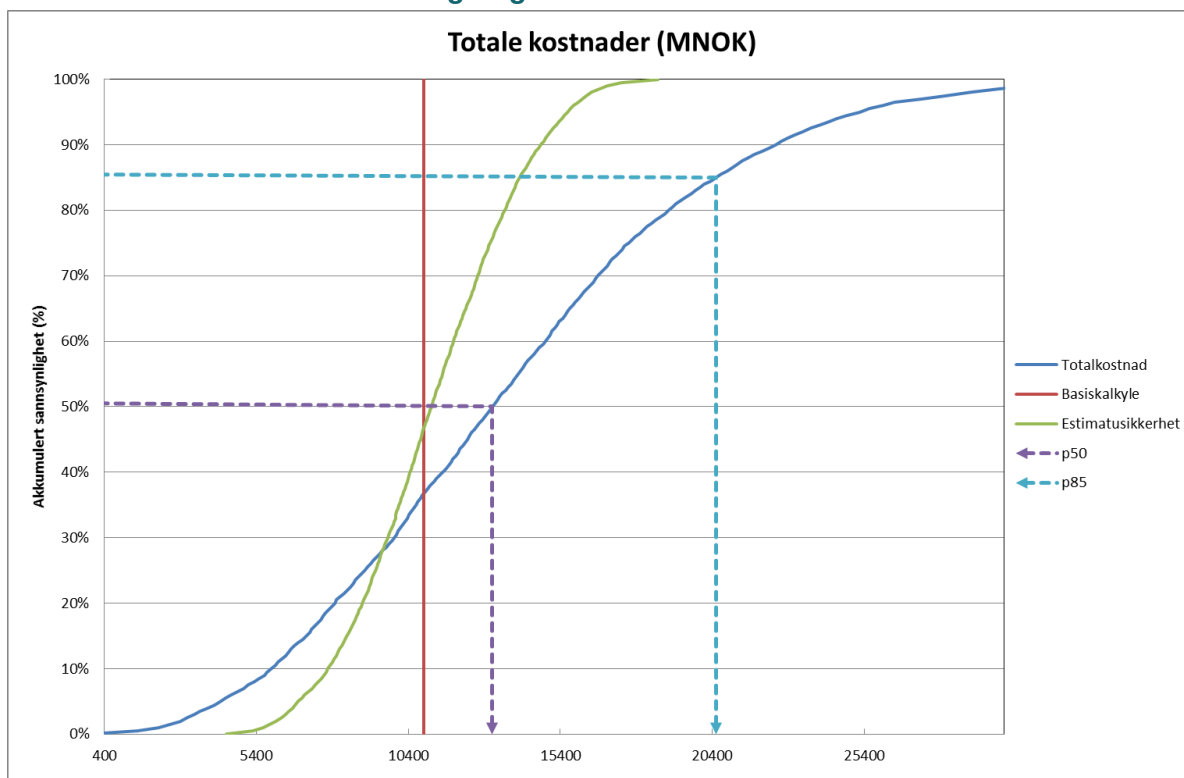
4.6.2. S-kurver

4.6.2.1. Scenario sen nedstengning – sammenstilling alle alternativer



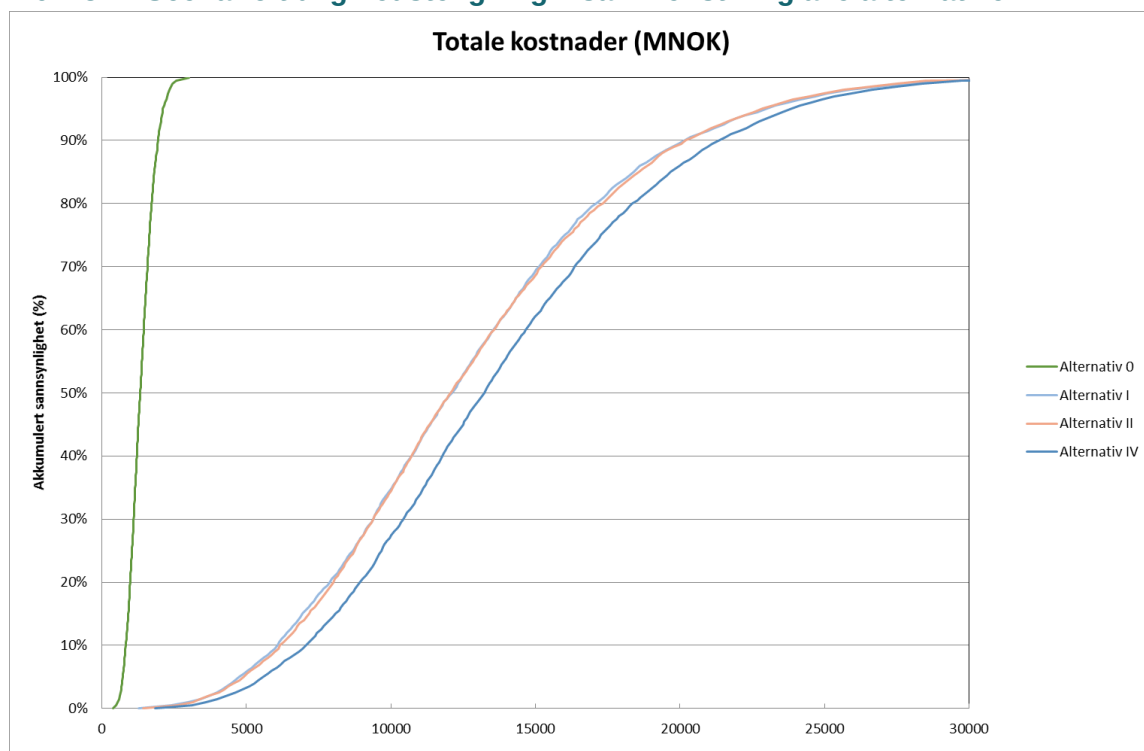
Figur 2 - S-kurver sen nedstengning

4.6.2.2. Scenario sen nedstengning – alternativ II



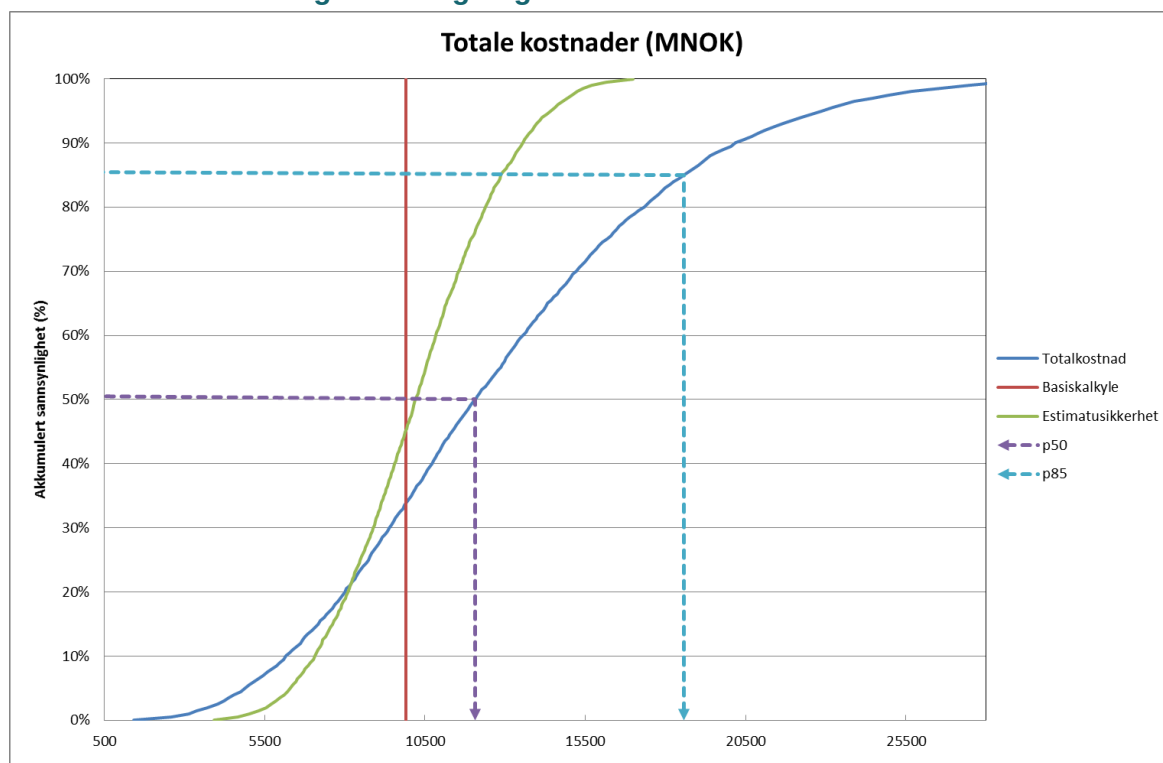
Figur 3 - S-kurve alternativ II sen nedstengning

4.6.2.3. Scenario tidlig nedstengning – sammenstilling alle alternativer



Figur 4 - S-kurver tidlig nedstengning

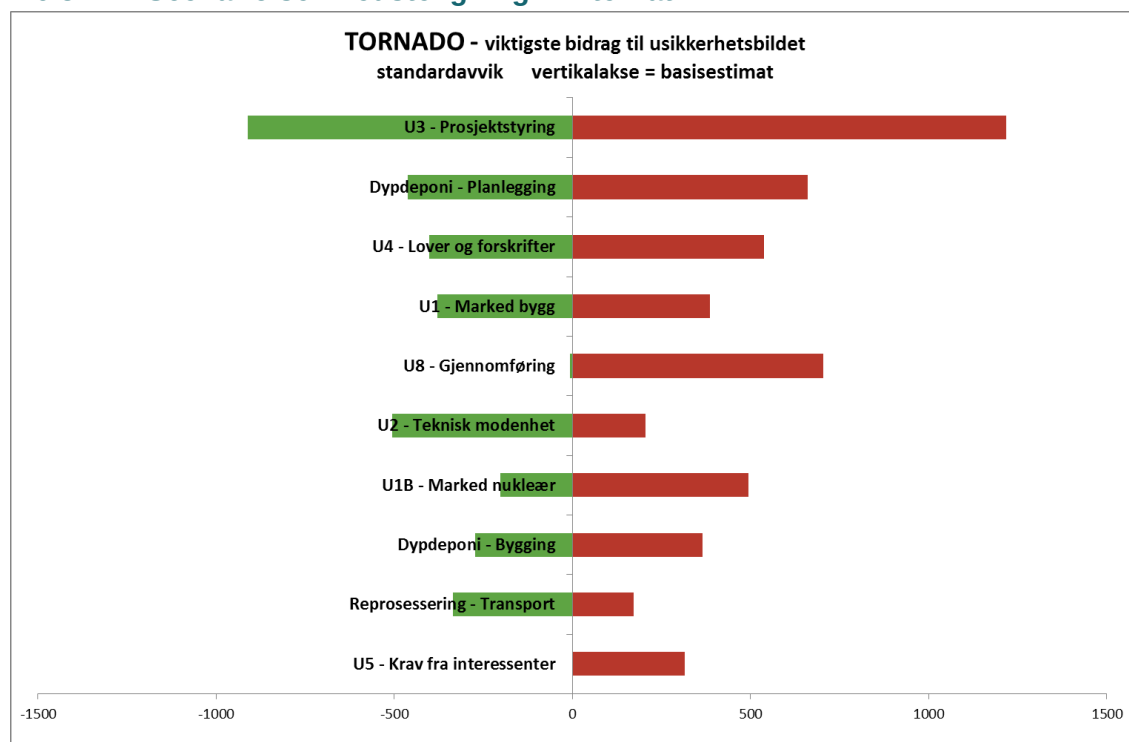
4.6.2.4. S-kurve tidlig nedstengning – alternativ II



Figur 5 - S-kurve alternativ II tidlig nedstengning

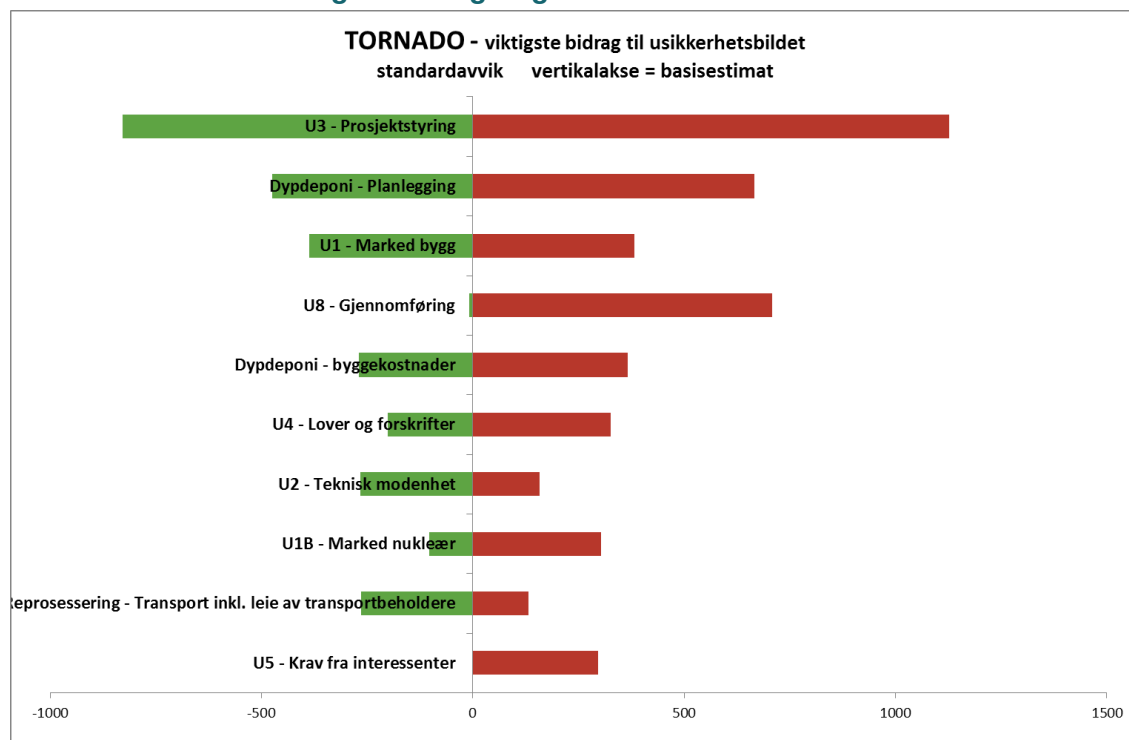
4.6.3. Tornadodiagram

4.6.3.1. Scenario sen nedstengning – Alternativ II



Figur 6 - Tornadodiagram alternativ II sen nedstengning

4.6.3.2. Scenario tidlig nedstengning – Alternativ II



Figur 7 - Tornadodiagram alternativ II tidlig nedstengning



ATKINS

oslo**economics**

KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall

Vedlegg 3 Samfunnsøkonomi – Utdypende analyser

**Kvalitetssikring (KS1) utarbeidet på oppdrag fra
Finansdepartementet og Nærings- og
Fiskeridepartementet**

15. april 2016



ATKINS

Atkins er et av verdens mest respekterte konsulentselskaper innen prosjektledelse og engineering av komplekse prosjekter. Vi verdsetter langsiktig samarbeid med våre kunder og partnere, og gjør vårt ytterste for å bidra til bærekraftig utvikling og vekst til beste for våre kunder og samfunnet – lokalt og globalt.

Atkins Norge er et av Norges ledende konsulentselskaper innen rådgivning, beslutningsstøtte, ledelse og styring av prosjekter. Vår kjernekompetanse er prosjektarbeid, og vi har siden oppstarten av Terramar i 1987 hatt sentrale roller i planlegging og gjennomføring av noen av de mest krevende prosjektene i Norge. Blant våre kunder finnes en rekke offentlige etater og de største aktørene i norsk næringsliv. Med virkning fra 2014 sluttet Terramar seg til Atkins – en av verdens største konsulent- og rådgivningsvirksomheter med ca. 18000 ansatte, hvorav ca. 700 i Skandinavia. Selskapet har sitt hovedkontor i Storbritannia og er notert på London Stock Exchange.

osloeconomics

Oslo Economics utreder økonomiske problemstillinger og gir råd til bedrifter, myndigheter og organisasjoner. Vår innsikt og analyse er basert på bransjee erfaring, sterk fagkompetanse og et omfattende nettverk av samarbeidspartnere. Vi er blant Norges ledende uavhengige samfunnsøkonomiske analysemiljøer og våre medarbeidere har erfaring fra offentlig forvaltning, forsknings- og analysemiljøer og næringslivet. Vi tilbyr analyse og rådgivning som del av regulatoriske prosesser, utredning av konseptvalg, kvalitetssikring, nytte-/kostnadsanalyser, sektoranalyser og evalueringer.

Kvalitetssikring av statlige investeringsprosjekter

Det er etablert en ordning med ekstern kvalitetssikring av statlige investeringsprosjekter med en antatt kostnad over 750 mill. kr. Ordningen omfatter kvalitetssikring av konseptvalg (KS 1) og kvalitetssikring av kostnadsoverslag og styringsunderlag (KS 2). Atkins, Oslo Economics og Promis har sammen en rammeavtale med Finansdepartementet innen kvalitetssikring.

Oppdragsgiver	Finansdepartementet og Nærings- og fiskeridepartementet
Kontaktpersoner	Peder Berg, Finansdepartementet og Lidia Logacheva/Karl G. Johannesen, Nærings- og fiskeridepartementet
Rapportnavn	Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall. Kvalitetssikring (KS1) utarbeidet på oppdrag fra Finansdepartementet og Nærings- og Fiskeridepartementet
Dato	15. april 2016
Utarbeidet av	Atkins og Oslo Economics
Kontaktinformasjon	Oppdragsleder Erik Magnus Sæther, Oslo Economics, ems@osloeconomics.no , +47 940 58 192

KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall

Vedlegg 3 Samfunnsøkonomi – Utdypende analyser



Innhold

1.	Konseptvalgutredningens samfunnsøkonomiske analyse	5
1.1.	Forutsetninger	5
1.2.	Spesifikke forutsetninger for dette prosjektet	5
1.3.	Prissatte virkninger	5
1.4.	Ikke-prissatte virkninger	8
1.5.	Usikkerhet i kostnadsanslagene	8
1.6.	Konseptvalgutredningens rangering og anbefaling	9
2.	Kvalitetssikrers samfunnsøkonomiske analyse	11
2.1.	Metode og forutsetninger	11
2.2.	To scenarier for reaktorenes nedstengningstidspunkt	12
2.3.	Prissatte virkninger	13
2.4.	Ikke prissatte virkninger	27
2.5.	Usikkerhetsvurderinger	34
2.6.	Fordelingsvirkninger	34
2.7.	Realopsjoner	35
2.8.	Tilleggsanalyser	37
2.9.	Rangering og vurdering	38

1. Konseptvalgutredningens samfunnsøkonomiske analyse

1.1. Forutsetninger

Den samfunnsøkonomiske analysen er gjennomført i henhold til DFØs veileder i samfunnsøkonomiske analyser og Finansdepartementets rundskriv R-109/2014.

Under gir vi en oversikt over de sentrale forutsetningene for de gjennomførte analysene:

Tabell 1-1: Forutsetninger for konseptvalgutredningens samfunnsøkonomiske analyse

Forutsetninger	
Diskonteringsrente (år)	4 % (0-40), 3 % (40-75), 2 % (75-)
Analyseperiode	100 år
Neddiskontert til (Henføringsår)	2014
Prisnivå	2014
Investeringsperiode	Varierer
Realprisjustering	Lønn, 1,6 %

1.2. Spesifikke forutsetninger for dette prosjektet

Situasjonsbeskrivelsen og utgangspunktet for analyse av mulige tiltak avhenger av nedstengningstidspunkt for reaktorene i Halden og på Kjeller. Dette tidspunktet (eller at det i det hele tatt skal skje en nedstengning) er så langt ikke besluttet, og KVV-en har håndtert denne usikkerheten ved å analysere tre forskjellige scenarioer.

- Scenario alfa (α): Begge reaktorene drives videre i hele analyseperioden. Brukt brensel genereres kontinuerlig, og en lagring/deponeringsløsning må hensynta dette.
- Scenario beta (β): Begge reaktorene stenges ned umiddelbart (2018). Det genereres ikke mer brukt brensel.
- Scenario gamma (γ): En reaktor stenges ned i 2018, mens den andre fortsetter drift i resten av analyseperioden.

I tillegg gjøres det visse avgrensninger for analysen:

- Kostnader som er vurdert er kun relatert til lagring av brensel. Kostnader til drift av reaktorene vurderes ikke. Det er heller ikke vurdert noen kostnader knyttet til håndtering og lagring av andre typer avfall Norge per i dag ikke har noen strategi for å ta hånd om (langlivet avfall fra sykehus/forsvar/legemiddelproduksjon).

1.3. Prissatte virkninger

De ulike prissatte virkningene knytter seg til investeringsvalgene som gjøres i hvert enkelt alternativ. Det er ikke beregnet noen positive nyttevirkinger av tiltakene, derfor fremstår den samfunnsøkonomiske analysen som en kostnadseffektivitetsanalyse.

Referansealternativet

Dagens lagre videreføres så langt det er mulig, med utvidelse etter behov om reaktorene driver videre. Lagrene for ustabil brukt brensel både på Kjeller og i Halden erstattes med nye lagre, i form av transportable lagringsbeholdere. Sikringsregime med overvåkning, vedlikehold og drift opprettes.

Alternativ 1 – Samlager i Norge

Eksisterende lagre erstattes av nye lagerfasiliteter på en sentral plassering. Det er lagt til grunn at lagerløsningen legges til ny lokasjon, men lagerløsning på Kjeller og Halden er også vurdert, som underalternativ 1b og 1c (1a - ny lokasjon er basis).

Alternativ 2 – Dypdeponi

Ustabil brukt brensel (metallisk brensel og oksid-brensel med aluminiumskapsling) sendes til repressering, mens gjenværende brukt brensel mellomlagres på en sentral lokasjon til en deponiløsning står klar. Mellomlager bygges i en fjellhall i basisalternativet. I alternativanalysen er det antatt at utredning og bygging av deponiet tar ca. 30 år.

Alternativ 3 – Internasjonalt samarbeid

Alternativet innebærer at det oppnås enighet om internasjonalt samarbeid om dypdeponi. Før dette kan bli aktuelt for det norske brenselet må det stabiliseres. Det er stor usikkerhet om gjennomførbarheten og kostnadene ved en slik løsning, derfor er det ikke kostnadsberegnet. Det antas imidlertid at internasjonalt samarbeid kan bli mer kostnadseffektivt enn alternativ 2 – Deponi i Norge, og det anbefales at de to mulighetene utredes i parallell.

Alternativ 4 – Repressering

Repressering foretas ved et anlegg i utlandet, etter at det brukte brenselet har blitt tørket og pakket for transport i Norge. Ved videre drift av reaktorene legges det til grunn at brensel må sendes til repressering to ganger.

Ved repressering av alt brukt brensel er det antatt at Norge vil motta høyaktivt vitrifisert avfall i retur. Dette avfallet er enklere å oppbevare enn brukt brensel, og det antas at det kan oppbevares i en lagerdel av et anlegg tilsvarende KLDRA Himdalen som må bygges en gang i fremtiden.

1.3.1. Kostnadskomponenter

I analysene av de prissatte virkningene er det beregnet nytte og kostnader for følgende komponenter:

- Investeringskostnader for lager og deponi, pakking og transport av brukt brensel
- Behandlingskostnader: Kostnader for behandling av brukt brensel ved et represseringsanlegg, eller tørking av brukt brensel før lagring i casks
- Dekommisjoneringskostnad: Dersom reaktorene er nedstengt og brukt brensel flyttes fra Halden og/eller Kjeller antas det i KVVU-en at områdene dekommisjoneres til et nivå som gir fri bruk til andre formål. Ved fortsatt lagring på ett eller begge områder antas det at det dekommisjoneres til nivået «fortsett nukleær virksomhet».
- Overvåking, drift og vedlikehold (OVD): Kostnader til ledelse og administrasjon, fysisk sikring, strålevern, driftskostnader til anlegg, tilsyn og kontroll
- Skattefinansieringskostnader: Kostnad ved å finansiere investeringer ved hjelp av skattlegging, som fører til et effektivitetstap. KVVU-gruppen har inkludert skattefinansiering på alle punktene over, med standard rate, 20 %.

Tabellene nedenfor viser resultatene i konseptvalgutredningen for de prissatte virkningene. Internasjonalt samarbeid er også inkludert i rangeringen av alternativene, men det er ikke kostnadsberegnet. Internasjonalt samarbeid rangeres høyere enn alternativ 2 – Deponi i Norge fordi dersom alternativet skal være aktuelt må det være minst like bra som å bygge deponi i Norge.

Tabell 1-2: Sammenstilling av prissatte virkninger (mill. 2014 kroner, nåverdi, inkl. skattefinansieringskostnad)

Scenario	Kostnads- elementer	Ref. alt	Alt. 1a	Alt. 1b	Alt 1.c	Alt. 2	Alt. 4
Alfa	Totalkostnad	-1 790	-2 595			-3 114	-2 076
	Behandling	-26	-31			-394	570
	Investeringer	-294	-548			-937	0
	Dekommisjo- nering	0	0			0	0
	OVD	-1 470	-2 016			-1 783	-1 505
Beta	Totalkostnad	-3 522	-3 225	-2 960	-2 969	-3 844	-2 523
	Investeringer	-29	-31	-29	-29	-382	-558
	Behandling	-505	-734	-539	-627	-1 478	-260
	Dekommisjo- nering	-830	-1 035	-943	-922	-1 035	-1 035
	OVD	-2 158	-1 424	-1 449	-1 390	-949	-670
Gamma	Totalkostnad	-3 203	-3 405		-2 626	-4 127	-2 885
	Investeringer	-29	-31		-29	-411	-587
	Behandling	-522	-549		-447	-1 124	-31
	Dekommisjo- nering	-830	-1 035		-922	-1 035	-1 035
	OVD	-1 822	-1 791		-1 228	-1 556	-1 232

I beregningen av prissatte virkninger i KVV-en er dekommisjoneringskostnaden inkludert i de tilfellene hvor IFEs områder i Halden og Kjeller ikke benyttes til mellomlager for brukt brensel, og det forutsettes at områdene dekommisjoneres til nivå «fri bruk» (se KVV Dekommisjonering). For referansealternativet er det antatt at begge områdene dekommisjoneres til nivå «fortsatt nukleær virksomhet». Dersom ett område benyttes som mellomlager dekommisjoneres dette til «fortsatt nukleær virksomhet», mens det andre friklasseres til «fri bruk».

Av ukjent årsak har KVV-en benyttet de samme dekommisjoneringskostnadene for scenario gamma, hvor kun en reaktor dekommisjoneres, som i beta, hvor begge dekommisjoneres. I KVV-en presenteres virkningene kun relativt til referansealternativet, så for alternativet 1c – samlager på Kjeller blir den relative dekommisjoneringskostnaden lik som om man kun hadde forutsatt at ett av områdene dekommisjoneres. For alternativ 2 og 4 telles imidlertid differansen i dekommisjoneringskostnad mellom alternativet (fri bruk) og referansealternativet (nukleær virksomhet) for begge områdene, noe som gir en tilnærmet dobling av kostnadene til dekommisjonering. Dette har ikke innvirkning på rangeringen av alternativene.

KVV-en har kostnadsberegnet utvidelse av deponikapasitet for annet radioaktivt avfall (ARA), men det er kun ett alternativ som er kostnadsberegnet. Kostnadene for utvidelse av KLDRA-kapasiteten er inkludert i investeringskostnaden i Tabell 1-2.

KVV-en legger til grunn at strategien med deponering av lav- og mellomaktivt kortlivet avfall vil videreføres. Dersom reaktorene stenges ned og dekommisjoneres vil økt kapasitet være nødvendig på et tidligere tidspunkt, men denne forseringskostnaden er inkludert i KVV *Fremtidig dekommisjonering av nukleære anlegg*. Imidlertid vil nedstengning av reaktorene føre til at mengden avfall som hvert år sendes til deponering omtrent halveres, fordi mye av dette produseres av reaktordriften.

1.4. Ikke-prissatte virkninger

For vurdering av de ikke-prissatte effektene, er det tatt utgangspunkt i etablert praksis for konseptvalgutredninger og gjeldende veileder og rundskriv.

De ikke-prissatte virkningene er tillagt så liten verdi i KVVU-en at de ikke vil kunne endre rangeringen av alternativene. De ikke-prissatte virkningene som er vurdert er:

- Helse- og miljøvirkninger
- Eksterne virkninger ved etablering av ny oppbevaringsløsning
- Frigjøring av areal

Vurderingene av ikke-prissatte virkninger skiller seg ikke i betydelig grad fra hverandre mellom scenarioene. Det er ikke gitt noen egen vurdering av ikke-prissatte virkninger for scenario gamma, men det antas at denne er lik som for alfa og beta. De ikke-prissatte virkningene som vurderes å være signifikant forskjellig mellom alternativene for lokasjon for mellomlagring er presentert i KVVU-ens tabell 5-3. For øvrig er de ikke-prissatte virkningene ikke inkludert i den samlede vurderingen.

Helse og miljøvirkninger

Helse- og miljøvirkninger knytter seg til faren for at mennesker og miljø utsettes for stråling fra radioaktive materialer. Det er økt risiko for slike virkninger ved fortsatt lagring av det brukte brenselet over lang tid. Det kan skje ulykker ved lageranleggene, eller materiale kan komme på avveie og brukes til terrorformål. I KVVU-en er alternativ 2 og 4 forbundet med en liten gevinst ved redusert ulykkes- og spredningsrisiko. Risikonivået er ansett for å være lavt i utgangspunktet.

Eksterne virkninger ved etablering av ny oppbevaringsløsning

Etablering av nye anlegg for oppbevaring vil forringe bruksmulighetene for områdene hvor de besluttes plassert. I KVVU-en får denne effekten mindre negativt omfang i referansealternativet og alternativ 4, fordi det ikke etableres noe nytt anlegg. Virkningen anses ikke for å være betydelig negativ i de andre alternativene heller.

Frigjøring av areal

Hvis reaktordriften er stengt, og oppbevaringsanlegg for brukt brensel flyttes fra Halden og/eller Kjeller, frigjøres areal til alternativ bruk. I scenario alfa driftes begge reaktorene, og frigjøring av areal er derfor ikke aktuelt. I scenario beta kan arealer frigjøres dersom lagringsanlegg samlokaliseres, og ett eller begge reaktoranlegg dekommisjoneres til annen næringsvirksomhet eller fri bruk. Arealene som frigjøres er ikke spesielt store, så virkningen vurderes å være liten i KVVU-en. Frigjøring av arealer etter dekommisjonering behandles nærmere i KVVU *Fremtidig dekommisjonering av nukleære anlegg*.

1.5. Usikkerhet i kostnadsanslagene

KVVU-en oppgir relative standardavvik for totalkostnaden og for kun investering- og behandlingskostnader separat. Relativt standardavvik for totalkostnaden er lavere enn for investering- og behandlingskostnader fordi det er mindre usikkerhet om overvåkning-, drift-, og vedlikeholdskostnader (OVD), som er inkludert i totalkostnaden.

Tabell 1-3: Usikkerhet i kostnadsanslagene i KVV

		Referanse- alternativ	Alt 1a	Alt 1b	Alt 1c	Alt 2	Alt 4
Relativt standardavvik – Totalkostnad	Alfa	18 %	16 %	-	-	21 %	18 %
	Beta	19 %	18 %	20 %	19 %	25 %	22 %
	Gamma	18 %	17 %	-	18 %	23 %	19 %
Relativt standardavvik – Investering og behandling	Alfa	25 %	24 %	-	-	33 %	31 %
	Beta	25 %	24 %	25 %	26 %	31 %	30 %
	Gamma	25 %	25 %	-	25 %	32 %	29 %

Alternativ 2 og 4 har gjennomgående noe høyere usikkerhet i anslagene enn referansealternativet og alternativ 1.

1.6. Konseptvalgutredningens rangering og anbefaling

Det er i praksis kun de prissatte virkningene som påvirker KVV-ens rangering og anbefaling, fordi de ikke-prissatte virkningene vurderes å være små for alle alternativene.

Som vist i Tabell 1-2 varierer det hvilket alternativ som kommer best ut på prissatte virkninger, avhengig av hvilket scenario for drift av reaktorene man ser på. Dersom man forventer drift i lang tid framover anbefales referansealternativet. Ved umiddelbar nedstengning anbefales alternativ 4, hvor alt brukt brensel sendes til repressering. Dersom kun én reaktor drives videre, mens den andre legges ned i nær fremtid, anbefales det å opprette et sentrallager på området for reaktoren som drives videre.

Følsomhetsanalyser viser at ved reaktornedstengning senere i analyseperioden, men før ca. 2100, er alternativ 4 fortsatt mest lønnsomt. Scenarioet som vurderes som mest realistisk ligger nærmere beta enn alfa.

Tabell 1-4: Prissatte virkninger i KVV relativt til referansealternativet

	Referanse- alternativet	Alt 1. Samlager	Alternativ 2 deponi	Alternativ 3 internasjonalt samarbeid	Alternativ 4 – Repressere alt brensel
Alfa	-	-800	-1320	Ikke beregnet	-290
<i>Rangering</i>	1	3	5	3	2
Beta	-	300	-320	Ikke beregnet	1000
<i>Rangering</i>	3	2	5	3	1
Gamma	-	580	-920	Ikke beregnet	320
<i>Rangering</i>	3	1	5	4	2

I scenario alfa og gamma, med fortsatt drift av JEEP II, vil det kontinuerlig genereres ustabil brukt brensel (oksidbrensel med aluminiumskapsling). KVV-en påpeker at det da er et alternativ å *utsette beslutningen* om å sende brukt brensel til utlandet for repressering. Det påpekes imidlertid også at dette vil medføre ekstra

investeringskostnader til mellomlager og at det er usikkert om kommersielle reprosesseringstjenester vil være tilgjengelig i et langsiktig tidsperspektiv.

I KVVU-en avhenger anbefalt løsning av om hvorvidt reprosessering av alt eller deler av det brukte brenselet er akseptabelt eller ikke. Dersom reprosessering ikke er akseptabelt faller alle alternativer unntatt referansealternativet og alternativ 1 – samlagring bort.

2. Kvalitetssikrers samfunnsøkonomiske analyse

2.1. Metode og forutsetninger

Kvalitetssikrers samfunnsøkonomiske analyse er gjennomført i henhold til prinsippene i Direktoratet for økonomistyrings «Veileder i samfunnsøkonomiske analyser», og Finansdepartementets rundskriv R-109/2014. Dette innebærer i hovedsak at det foretas en nytte-kostnadsanalyse der;

- Alle investeringskonsepter sammenlignes med basissituasjonen dersom dagens situasjon videreføres (nullalternativet).
- Effekter, inkludert eksternaliteter, verdsettes i kroner så langt dette er hensiktsmessig.
- Prissatte virkninger vurderes etter nåverdimetoden. Det benyttes forventningsverdier for alle virkninger.
- Effekter som ikke er egnet til å verdsettes i kroner beskrives kvalitativt.
- Viktige fordelingsvirkninger drøftes, og prissettes hvis hensiktsmessig.
- Finansieringskostnader, inkludert skattekostnader, og konsekvenser for offentlige budsjetter vises.

Relevante forutsetninger, samt ytterligere detaljer om metoden, beskrives i teksten der dette er naturlig. Nytte-kostnadsanalysen er kjernen i den samfunnsøkonomiske analysen.

I tabellen under er de viktigste forutsetningene for den samfunnsøkonomiske analysen presentert. Som det fremgår av tabellen, har vi endret på enkelte av forutsetningene fra KVVU-en.

Tabell 2-1: Skjematisk oversikt over forutsetninger i KVVU og KS1

Forutsetning	KVVU	KS1
Sammenligningsår	2014	2016
Diskonteringsrente	4 %, 3 %, 2 %	4 %, 3 %, 2 %
Analyseperiode	100 år	100 år
Investeringsperiode	Varierer	Varierer
Prisnivå	2014-kroner	2016-kroner
Realprisjustering	Lønn, 1,6 %	Lønn, 1,3 %, 0,98 %, 0,65 %, 0 %
Restverdi	Medtatt der det er relevant	Medtatt der det er relevant

KVVU-en gjennomfører en realprisjustering av lønnskostnader, for å hensynta at lønn utvikler seg annerledes enn konsumprisindeksen. KVVU-en bruker en realprisvekst av lønn på 1,6 % per år. Finansdepartementets rundskriv R-109/2014 anbefaler at verdien av tid i arbeid skal prisjusteres med forventet vekst i BNP per innbygger i siste tilgjengelige Perspektivmelding fra Finansdepartementet. I siste perspektivmelding er forventet vekst i BNP per innbygger i fastlands-Norge 1,6 %, mens det for hele Norge er 1,3 %. Vi har lagt til grunn fremskrivningen for vekst i hele Norge og benytter derfor en årlig realprisvekst av lønnskostnader på 1,3 %. En slik prisjustering over en meget lang periode vil gi svært høye lønnskostnader. I virkeligheten vil en slik utvikling trolig bli motvirket av en teknologisk utvikling, der arbeidskraft erstattes av teknologi, nettopp som en følge av de høye arbeidskostnadene. Etter kvalitetssikrers syn blir det derfor misvisende å legge til grunn en realprisvekst på arbeidskraft i all fremtid. Vi har i analysen valgt å redusere realprisjusteringen i takt med diskonteringsrenten, slik at lønnskostnader økes med 1,3 % årlig første 40 år, deretter med 0,98 % årlig de neste 35 år, og så med 0,65 % årlig frem til år 100. Deretter har vi ikke lagt til grunn noen realprisjustering.

Lønnskostnader er inkludert i både investeringskostnadene og driftskostnadene i kvalitetssikrers samfunnsøkonomiske analyse, og begge er derfor tillagt realprisvekst. Dette til forskjell fra i KVVU-ens analyse, hvor kun driftskostnadene er forutsatt å øke med reallønnsveksten. I de fleste offentlige investeringsprosjekter påløper kostnader til investering i et lite tidsintervall, relativt nært i tid til beslutningen om å foreta investeringene. Det er derfor mindre grunn til å differensiere på lønnsutgifter og andre

investeringsutgifter og å legge til realprisvekst på lønnskostnadene. I denne sammenhengen er imidlertid investeringskostnadene spredt ut over et stort tidsrom, og realprisvekst vil ha stor betydning også for disse.

Som i KVVU-en har kvalitetssikrer lagt til grunn at markedsprisene som benyttes for investerings- og driftskostnader representerer de samfunnsøkonomiske kostnadene. Det er ikke medtatt merverdiavgift, men arbeidsgiveravgift og sosiale kostnader er inkludert i lønnskostnadene.

I analysen av ikke-prissatte virkninger har vi benyttet den såkalte pluss-minusmetoden, der virkningene vurderes ut fra betydning og omfang som samlet gir virkninger. Det er benyttet en elleve-delt skala, fra (+++++) til (-----), i en sammenligning med nullalternativet.

Tabell 2-2 metode for analyse av ikke-prissatte virkninger

		Virkningens betydning for samfunnet		
		Liten	Middels	Stor
Virkningens omfang	Stort positivt	+++	++++	+++++
	Middels positivt	++	+++	++++
	Lite positivt	+	++	+++
	Intet	0	0	0
	Lite negativt	-	--	---
	Middels negativt	--	---	----
	Stort negativt	---	----	-----

2.2. To scenarier for reaktorenes nedstengningstidspunkt

Verken KVVU eller Kvalitetssikrer tar stilling til hvor lenge IFEs atomreaktorer skal driftes. Tidshorisonten for videre drift påvirker imidlertid analysen i stor grad, og Kvalitetssikrer viderefører derfor to av KVVU-ens scenario: scenario alfa, med fortsatt drift av begge reaktorer fram til slutten av analyseperioden (år 2100), og scenario beta, med tidlig nedstengning av begge reaktorer (år 2020). KVVU-en gjennomfører i tillegg analysen for et kombinert scenario, scenario gamma, hvor en av reaktorene antas nedstengt på et tidlig tidspunkt mens den andre driftes videre mot slutten av analyseperioden. Kvalitetssikrer utelater dette scenarioet fordi det betraktes som et kombinasjonsalternativ og at resultatene fra et slikt alternativ kan utledes som en kombinasjon av resultatene fra analysen for scenarioene alfa og beta.

Tidspunkt for nedstengning av reaktorene avgjør de totale avfallsmengdene. I et scenario med fortsatt drift er det lagt til grunn at fremtidig avfallsproduksjon er på dagens nivå, hvilket innebærer en produksjon av brukt aluminiumskapslet oksidbrensel fra Kjeller på 45 kg og brukt zirkaloykapslet brensel fra Halden på 80 kg per år. I dette scenarioet med stabilisering av det aluminiumskapslede oksidbrenselet gjennomføres i to omganger. Det vil ikke være hensiktsmessig å holde et dypdeponi åpent i mange år i påvente av at reaktorene stenger ned og produksjonen av brukt brensel opphører og det legges derfor til grunn at man i et scenario med fortsatt drift utsetter byggingen av et dypdeponi slik at det først står klart når alt avfall er klart til å deponeres. En utsatt etablering av dypdeponi medfører også at mellomlageret videreføres i lengre tid, i påvente av at dypdeponiet står klart, og dermed økte kostnader til drift, vedlikehold og overvåking av mellomlageret.

Analysen forutsetter at en sluttløsning for brukt brensel er klar innen utgangen av analyseperioden på 100 år og derfor at dypdeponiet forsegles innen den tid. Dette innebærer at reaktorene må stenge ned noe før, anslagsvis i år 2100.

I KVV-ens analyse er tidspunkt for nedstengning av reaktorene satt til 2018 ved tidlig nedstengning og 2115 ved sen nedstengning.

Tabell 2-3 Tidslinje for scenarioene alfa (sen nedstengning) og beta (tidlig nedstengning)



2.3. Prissatte virkninger

De prissatte virkningene verdsettes etter nåverdimetoden. Dette innebærer at nytte, inntekter og kostnader som oppstår i ulike år i analyseperioden diskonteres ned til et gitt år, kalt «henføringsåret».

2.3.1. Investeringskostnader

Investeringskostnadene som er lagt til grunn i den samfunnsøkonomiske analysen er basert på forventningsverdien av hver kostnadskomponent som fremkommer fra usikkerhetsanalysen. Basiskalkylen og usikkerhetsanalysen er beskrevet detaljert i vedlegg 2.

Fordi vi har lagt noen ulike forutsetninger til grunn, skiller våre beregninger av de prissatte effektene seg noe fra KVV-ens beregninger. Endringene utført i KS1 er knyttet til:

- Økt anslag på kostnader for reprosessering.
 - KVV-en baserer sine beregninger på pristilbud fra Mayak-anlegget i Russland. I KS1 er prisantydning fra Areva isteden brukt som grunnlag.
 - Reprosessering av deler av det brukte brenselet er inkludert i alle tiltaksalternativene i KS1.
- Større behov for mellomlager for brukt brensel i alle alternativ
 - På grunn av tilstanden på dagens lagre for metallisk brensel og tiden det vil ta fra avfallet returneres fra reprosessering til dypdeponi står ferdig, vil det være behov for investering i mellomlager i alle alternativ.
- Økt anslag på kostnader for dypdeponi
 - I KS1 er kostnadene for dypdeponi basert på estimer fra eksempelet som er nærmest realisering, dypdeponiet på Olkiluoto i Finland

2.3.1.1. Endringer i kostnadsanslag fra KVV til KS1

Under vises forskjellene element for element, før kostnadene periodiseres og alternativene vurderes opp mot hverandre i den samfunnsøkonomiske analysen.

Økt anslag på kostnader for reprosessering.

Kostnadene for reprosessering i KS1 baseres på anslag Areva har gjort for enhetspriser for reprosessering. Kostnadene er nærmest proporsjonale med mengden brukt brensel som reprosesserer. KVV-en har også benyttet anslag som er proporsjonale med mengde, men har anslått en lavere kostnad og reprosesserer ikke i alternativ 1.

Tabell 2-4: Endrede kostnadsanslag for stabilisering av brukt brensel og annet radioaktivt avfall, tidlig nedstengning (MNOK) (Prisnivå KVV: 2014, KS1: 2016)

	KVV	KS1
Referansealternativet	0	0

Alternativ 1 / I	0	2 330
Alternativ 2 / II	470	2 570
Alternativ 4 / IV	690	3 650

Større behov for mellomlager for brukt brensel i alle alternativ

På grunn av tilstanden på dagens lagre for metallisk brensel og tiden det vil ta fra avfallet returneres fra repressering til dypdeponi står ferdig, vil det være behov for investering i mellomlager i alle alternativ. Det må både investeres i et lagerbygg og transportable lagringsbeholdere. Antallet beholdere avhenger av mengden brukt brensel og vitrifisert avfall som skal mellomlagres. I KS1 er det lagt til grunn at mellomlager etableres på et av områdene der IFE har aktivitet i dag.

Tabell 2-5: Endrede kostnadsanslag for mellomlager for brukt brensel, tidlig nedstengning (MNOK)

	KVU	KS1
Referansealternativet	370	730
Alternativ 1 / I	670	460
Alternativ 2 / II	405	370
Alternativ 4 / IV	80	150

Økt anslag på kostnader for dypdeponi

Alle tiltaksalternativene i KS1 inkluderer bygging av dypdeponi. I KS1 er kostnadene for dypdeponi basert på estimer fra eksempelet som er nærmest realisering, dypdeponiet på Olkiluoto i Finland. I KVU er det kun alternativ 2 som innebærer bygging av dypdeponi, alternativ 4 inkluderer kostnad for tilpassing av KLDRA for lagring av vitrifisert avfall.

Tabell 2-6: Endrede kostnadsanslag for deponi for brukt brensel, tidlig nedstengning (MNOK)

	KVU	KS1
Referansealternativet	0	0
Alternativ 1 / I	0	8 960
Alternativ 2 / II	1 695	8 890
Alternativ 4 / IV	80	8 590

Initiell planlegging

KS1 har estimert at forberedende planlegging før repressering kan gjennomføres vil medføre betydelige utgifter. Disse er antatt å være like for alle tiltaksalternativene, men vil ikke påløpe i referansealternativet.

Tabell 2-7: Endrede kostnadsanslag for initiell planlegging, tidlig nedstengning (MNOK)

	KVU	KS1
Alternativ I/ II /IV	-	35

2.3.2. Driftskostnader

I årene med drift av reaktor er alle kostnader knyttet til håndtering av brenselet etter at det er tatt ut av reaktor og nedkjølt i nærhet av reaktor inkludert. Dette muliggjør en sammenligning av kostnadene for håndtering av brukt brensel per tonn produsert i scenario alfa og scenario beta. Kostnader knyttet til drift av rektoren og produksjon og håndtering av brensel før det settes inn i reaktor er ikke inkludert.

I anslagene for driftskostnader av mellomlager har vi lagt til grunn at et nytt mellomlager etableres på en av IFEs eksisterende lokasjoner i Halden eller på Kjeller. Driftskostnader ved et mellomlager er antatt å være 14 millioner kroner årlig per lokasjon hvor en reaktor ikke er i drift, knyttet til fysisk sikring og noe oppdaterte sikkerhetskrav etter IAEAs tilbakemeldinger høsten 2015. Per lokasjon med reaktor i drift er driftskostnaden antatt å være 24 millioner kroner årlig, inkludert håndtering av brukt brensel fra det kommer ut av reaktor.

Hvert 30. år er det lagt til en engangsøkning på 25 % av driftskostnadene grunnet nødvendige utbedringer av fasilitetene, på samme måte som i KVU-en.

Fordi vi har lagt noen ulike forutsetninger til grunn, skiller våre beregninger av de prissatte driftskostnadene seg noe fra KVU-ens beregninger. Endringene utført i KS1 er knyttet til:

- KVU-en har lagt til grunn store driftskostnader i 2016 for engangsinspeksjon av metallisk brensel. Deler av disse kostnadene er i dag allerede bevilget IFE, samtidig har det kommet frem videre opplysninger om brenselets tilstand som medfører økte krav til inspeksjoner og behandling av hydratutvikling i dette brenselet. Disse kostnadene er lagt til som et eget punkt i investeringer og er dermed tatt ut av driftskostnadene.
- I scenario med fortsatt drift må det kjøpes inn nye lagringsbeholdere flere ganger i løpet av analyseperioden enten for å dekke opp for den løpende brenselsproduksjonen når den går utover kapasiteten i dagens lagre eller fordi disse beholderne kun kan brukes i 40 år og deretter må byttes ut. Kostnaden ved ompakking av brenselet til de nye beholderne er inkludert i investeringskostnaden til beholdene. KVU-en har lagt disse kostnadene som økte driftskostnader.
- 50 % av investeringskostnadene er antatt å være knyttet til lønnsutgifter og er derfor pålagt realprisvekst. KVU-en har ikke lagt realprisvekst på investeringskostnadene, kun på driftskostnadene.
- Driftskostnader for radavfallsanlegg er inkludert (8 mill, NOK årlig, samt en engangsøkning på 25 % hvert 30. år for nødvendige utbedringer). Radavfallsanlegget behandler radioaktivt avfall fra alle sektorer og har inntekter fra denne driften. Inntektssiden er i denne analysen holdt utenfor for å fokusere på samfunnets utgifter til behandling av radioaktivt avfall som samfunnet genererer. På samme måte er nyttesiden ved reaktordriften som genererer brukt brensel heller ikke inkludert.
- Ved fortsatt drift av reaktorene er kostnaden for håndtering av brukt brensel fra det flyttes fra nær-reaktorlagrene til mellomlager inkludert.

Tabell 2-8: Endrede kostnadsanslag for overvåkning, drift og vedlikehold, tidlig nedstengning (MNOK)

		KVU	KS1
Overvåkning, drift og vedlikehold – høyaktivt avfall	Referansealternativet	6 990	9 210
	Alternativ 1 / I	6 890	1 320
	Alternativ 2 / II	860	1 320
	Alternativ 4 / IV	310	1070
Overvåkning, drift og vedlikehold – lav- og mellomaktivt avfall	Referansealternativet	2 606	5 270
	Alternativ 1 / I	2 609	5 260
	Alternativ 2 / II	2 609	5 260
	Alternativ 4 / IV	2 609	5 260

Totale kostnader

Samlet gir disse endringene høyere totalkostnad for alternativene i KS1.

Tabell 2-9: Totalkostnader i KVU og KS1, tidlig nedstengning (MNOK)

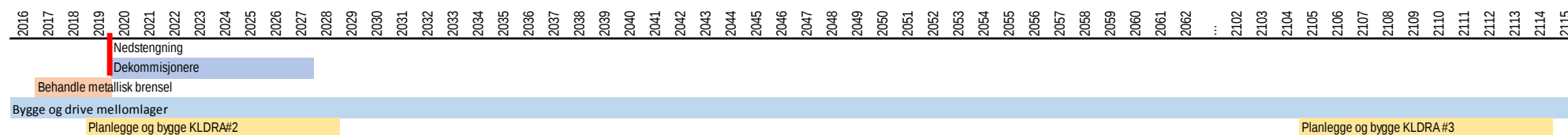
	KVU	KS1
Referansealternativet	10 512	15 840
Alternativ 1 / I	10 727	19 300
Alternativ 2 / II	6 597	19 340
Alternativ 4 / IV	4 288	19 580

2.3.3. Investeringshorisont og analyseperiode

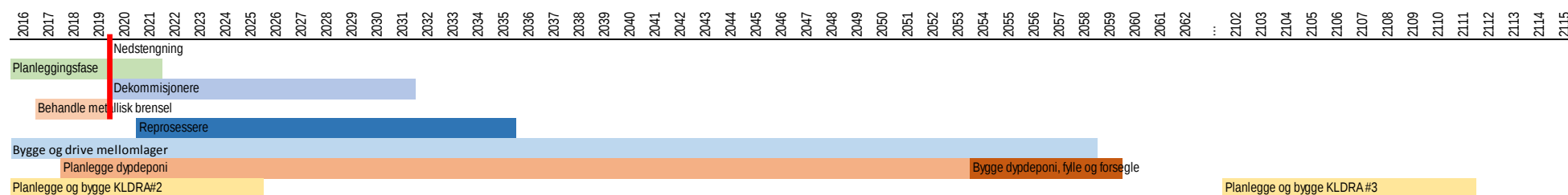
Analyseperioden er satt til 100 år. De ulike aktivitetene som er tilknyttet hvert alternativ vil foregå på spredte tidspunkt over mange år. Som tidslinjene på neste side viser, er KS1-alternativene mye likere hverandre i hvilke aktiviteter som skal gjennomføres enn hva KVU-alternativene er.

2.3.4. Tidslinje for periodisering av kostnader

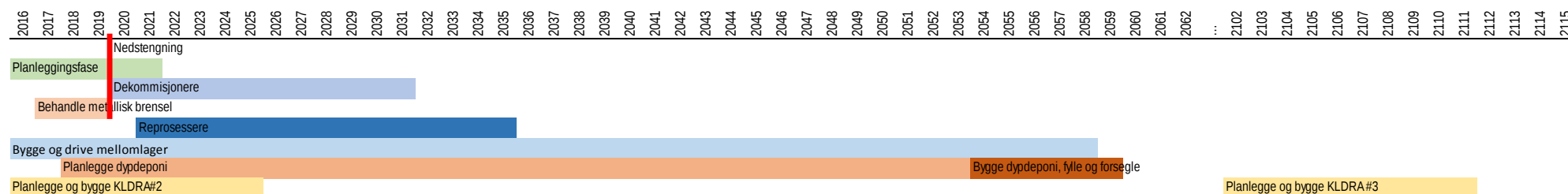
Figur 2-1: Tidslinje referansealternativ, tidlig nedstengning



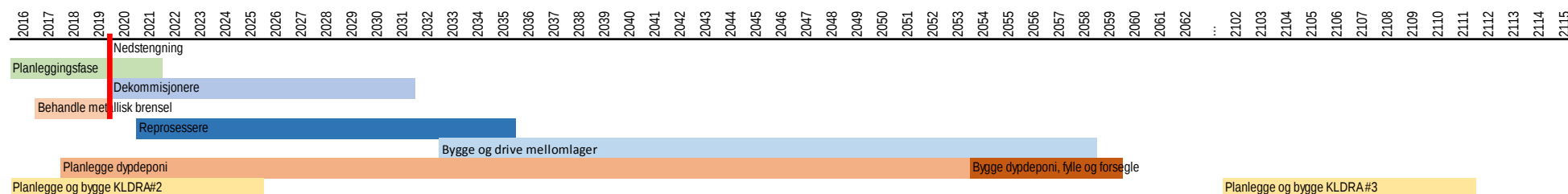
Figur 2-2: Tidslinje alternativ I, tidlig nedstengning



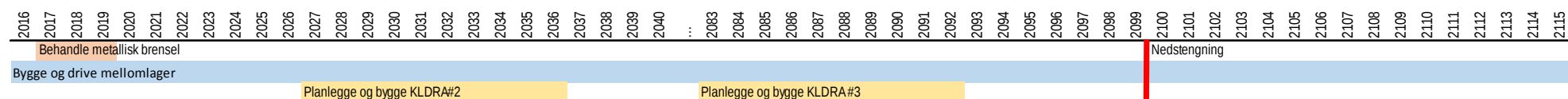
Figur 2-3: Tidslinje alternativ II, tidlig nedstengning



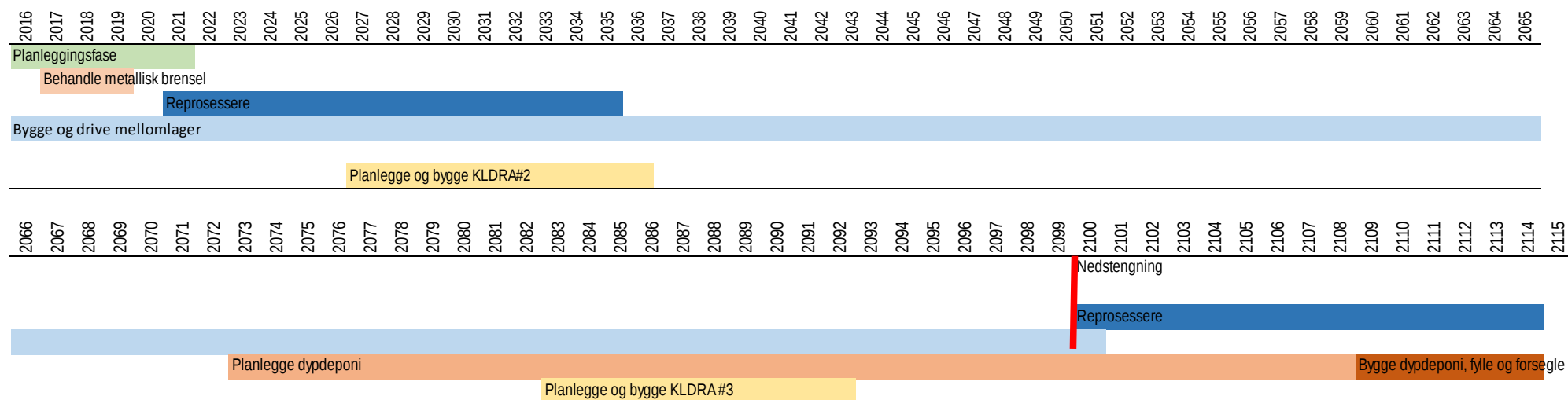
Figur 2-4: Tidslinje alternative IV, tidlig nedstengning



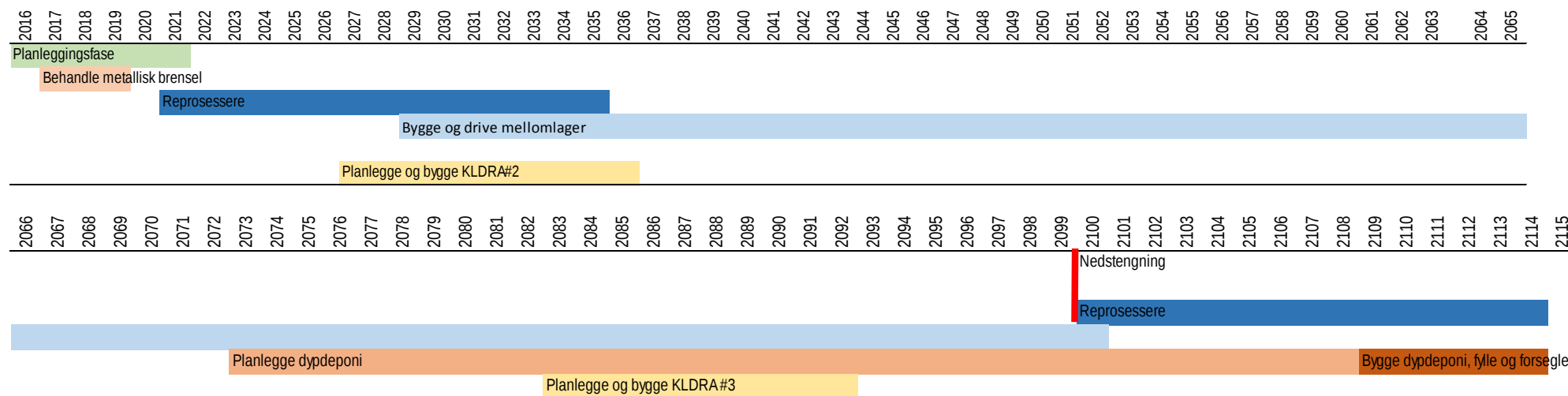
Figur 2-5: Tidslinje referansealternativ, sen nedstengning



Figur 2-6: Tidslinje alternativ I, sen nedstengning



Figur 2-7: Alternativ II og IV, sen nedstengning



2.3.5. Resultater fra analyse av prissatte virkninger

Den samfunnsøkonomiske lønnsomheten ved å gjennomføre tiltakene fremkommer ved å periodisere virkningene over analyseperioden og diskontere dem tilbake til henførsårsåret, for å synliggjøre alternativverdien av hvert tiltak. Ved å se på virkningene relativt til virkningene ved referansealternativet får man netto samfunnsøkonomisk nytte av å gjennomføre hvert tiltak. Dette er vist i tabellen under.

Tabell 2-10: Resultater fra kvalitetssikrers analyse av prissatte virkninger, investering og drift (mnok), netto nåverdi

NNV Mill. NOK	Alternativ	Planlegging og administrasjon	Stabilisering	Mellomlagring	Deponi	Totalt
Stans 2020	0	0	0	-2 070	-1 100	-3 170
	I Minimal repressering	-170	-2 100	-1 080	-4 980	-8 340
	II Represser alt ustabilt	-170	-2 280	-990	-4 940	-8 380
	IV Full repressering	-170	-3 160	-550	-4 820	-8 700
Stans 2100	0	0	0	-3 520	-1 060	-4 580
	I Minimal repressering	-220	-1 870	-2 700	-2 090	-6 880
	II Represser alt ustabilt	-220	-2 270	-2 350	-2 060	-6 890
	IV Full repressering	-220	-3 360	-2 100	-2 050	-7 730

Kvalitetssikrers analyse av prissatte virkninger viser at referansealternativet innebærer langt lavere samfunnsøkonomisk kostnad når kun prissatte virkninger regnes med, uavhengig av når reaktorene stenges ned. Det understrekes imidlertid at referansealternativet ikke representerer noen fullverdig løsning av avfallsproblematikken, og vurderingen av ikke-prissatte virkninger favoriserer de andre alternativene framfor referansealternativet.

Blant de øvrige alternativene innebærer alternativ I – Minimal repressering den laveste prissatte kostnaden. Dette holder også uavhengig av nedstengningstidspunkt. Årsaken er i stor grad at kostnadene som bæres er de samme i begge scenarioer, forskjellen mellom scenarioene er hovedsakelig neddiskonteringsfaktoren og mengden brukt brensel som må mellomlagres, som er likt i alle alternativer. Også mellom alternativene er det i stor grad de samme aktivitetene som må gjennomføres. Represseringskostnaden avhenger av mengden brukt brensel som sendes til repressering, derfor er det lønnsomt å sende så lite som mulig til repressering. Dette innebærer en større kostnad til mellomlager, men den overgår ikke besparelsen ved å ikke repressere mer brensel.

2.3.6. Følsomhetsanalyser

Vi har gjennomført følsomhetsanalyser av den prissatte beregningen. Formålet er å se hvordan de prissatte virkningene endres dersom sentrale forutsetninger endres i analysen. Det er gjort vurderinger av hvordan de prissatte effektene påvirkes dersom:

- Tidspunkt for planlegging og bygging av dypdeponi utsettes
- Antagelser om reallønnsveksten endres
- Andre diskonteringsrenter benyttes for å beregne netto nåverdi
- Driftskostnadene økes

2.3.6.1. Tidsaspekter ved planlegging og bygging av dypdeponi

Det kan tenkes hensiktsmessig å utsette planlegging og bygging av et dypdeponi. Fordelen ved dette er at alternative teknologier og muligheter for internasjonalt samarbeid om dypdeponi kan tenkes å utvikle seg i fremtiden og potensielt bidra til store kostnadsreduksjoner. På den annen side kan også kostnadene tenkes å ha steget gjennom realprisvekst i byggebransjen og i lønnsutgifter. Det er altså ikke gitt at kostnadene ved bygging av dypdeponi vil reduseres med tiden. Utsatt deponi medfører også en lengre periode med mellomlagring og driftskostnadene knyttet til dette. Samtidig vil en utsettelse av dypdeponiet medføre at betydelige byrder pålegges fremtidige generasjoner. Vi legger derfor til grunn at planleggingen av et dypdeponi starter umiddelbart dersom reaktorene stenger ned i nær framtid, men viser gjennom en

følsomhetsanalyse hvordan nåverdien av kostnadene vil endres dersom planlegging og bygging av dypdeponi utsettes slik at det først står klart mot slutten av analyseperioden på 100 år.

Planleggingen av et dypdeponi vil kunne ta svært lang tid. Dersom man forsøker å få til et internasjonalt samarbeid om dypdeponi vil bilaterale forhandlinger være svært tidkrevende. Parallelt vil prosessen knyttet til å finne en egnet lokasjon i Norge, testing av geologiske forhold og utforming av ulike teknologiske muligheter for dypdeponi i praksis for det norske brenselet være svært krevende og medføre langvarige utredninger og prosesser. Eksempelvis startet denne prosessen i Sverige i 1972 og det endelige deponiet antas å stå ferdig rundt år 2030. Sverige er imidlertid det første landet i verden til å utvikle en teknologisk løsning for dypdeponi i praksis, og ved valg av denne løsningen vil vi trolig kunne spare noe tid på å planlegge deponi i Norge. I så måte er prosessen i Finland trolig mer sammenlignbar med et norsk scenario, fordi de i stor grad har gjenbrukt svenske løsninger for dypdeponi. Det finske deponiet ble begynt planlagt i 1978 og er antatt å stå klart i 2023.

I kostnadsestimatene er det antatt at et dypdeponi vil stå klart 30-40 år etter at planlegging er igangsatt.

Tabellen under viser resultatene fra følsomhetsanalysen de prissatte virkningene av å utsette bygging av dypdeponi, slik at det først står klart i slutten av analyseperioden på 100 år. Kostnadene til mellomlagring vil øke noe, men de totale prissatte virkningene er sterkt positive på grunn av neddiskonteringseffekten. I samfunnsøkonomisk analyse er det alltid slik at det lønner seg å utsette rene kostnadsmomenter, fordi kostnadene da vil neddiskonteres over en lengre tidsperiode og nåverdien blir lavere. Kostnaden til dypdeponi er altså så stor at denne neddiskonteringseffekten overgår merkostnaden til mellomlager som følger av utsatt deponi. Det er likevel viktig å presisere at følsomhetsanalysen ikke tar med i beregning de ikke-prissatte virkningene av å utsette deponiet, som er nytten ved å få etablert en langsiktig, forsvarlig løsning på problemet og hensynet til fremtidige generasjoner. Ved en utsettelse vil også denne nytten komme senere i tid og dermed få lavere verdi.

Tabell 2-11: Følsomhet i analysene for tidspunkt for bygging av dypdeponi

	Prissatt nytte ved sent deponi relativt til tidlig deponi (beregningene foretatt på Alternativ I, i scenario med tidlig nedstengning.)
Kostnad for drift av mellomlager	-251
Redusert NNV for deponi	2 808
Netto prissatte virkninger av sent deponi	2 557

Forklaring: Positive verdier innebærer en besparelse. Prissatt virkning av å bygge deponi sent er mindre negativ enn av å bygge det tidlig, det vil si at kostnaden i neddiskonterte størrelser er mindre. Å skyve byggingen av deponi lenger inn i fremtiden fører til at investeringsbeløpet sett med dagens øyne fremstår lavere enn om det bygges tidlig.

Besparelsene ved utsatt bygging av deponi kunne vært større hadde det ikke vært for reallønnsvekst. I tabellen under er eksempelet over kontrastert mot en situasjon hvor det ikke er noen reallønnsvekst etter 2057, året deponiet ville stå ferdig dersom det bygges tidlig. Dette for å synliggjøre effektene av reallønnsvekst.

Tabell 2-12: Effekten av reallønnsvekst på virkningen av å utsette bygging av deponi

	Prissatt nytte ved sent deponi relativt til tidlig deponi (beregningene foretatt på Alt I, tidlig nedstengning.)
Netto prissatte virkninger av sent deponi uten reallønnsvekst etter 2057	2813
Bidrag til kostnad for drift av mellomlager fra reallønnsvekst	-23

	Prissatt nytte ved sent deponi relativt til tidlig deponi (beregningene foretatt på Alt I, tidlig nedstengning.)
Fratrekk i redusert NNV for deponi på grunn av reallønnsvekst	-232
Netto prissatte virkninger av sent deponi	2 558

Som Tabell 2-11 viser har utsettelse av bygging av dypdeponi stor innvirkning på netto nåverdi av alternativ I. Det er imidlertid ikke tilstrekkelig til å gjøre alternativet rimeligere regnet i netto nåverdi enn referansealternativet. Som vist i Tabell 2-12 reduserer reallønnsveksten potensialet for besparelser ved å utsette deponiet. Hadde man fokusert på de totale, ikke-neddiskonterte, kostnadene istedenfor netto nåverdi ville det vært klart at reallønnsveksten ville føre til at det ikke var noen fordeler med å utsette byggingen av deponiet. Dette er antakeligvis noe som ville holdt i virkeligheten, sett i lys av den store økningen i byggekostnadsindeksen relativt til konsumprisindeksen de siste tiårene. Det understrekes derfor at det som tilsynelatende er en besparelse ved å utsette deponiet kun skyldes diskonteringsfaktoren.

Tabell 2-13 viser forskjellen i totale kostnader for bygging av dypdeponi tidlig og sent. Forskjellen skyldes utelukkende reallønnsveksten som er forutsatt.

Tabell 2-13: Totalkostnader for planlegging og bygging av dypdeponi.

	Tidlig bygging av deponi (ferdig 2057)	Sen bygging av deponi (ferdig 2112)
Investeringskostnad dypdeponi	11 445	15 919

2.3.6.2. Endrede antagelser om reallønnsvekst i analyseperioden.

Den vanlige prosedyren ved gjennomføring av en samfunnsøkonomisk analyse er å anta at alle varer og tjenester har samme prisvekst, og at relative priser derfor er uendret gjennom analyseperioden. Dersom noen priser tillegges en annen vekst enn resten skal det gis særlig begrunnelse basert på teori og empiri for dette valget. Antagelsen om reallønnsvekst som er høyere enn den generelle prisveksten kan forklares ut fra forventet produktivitetsvekst, som gjør at arbeidskraften produserer relativt mer per time og mottar en høyere avlønning. Det har også vært en historisk trend at reallønninger har steget over tid.

På grunn av det lange tidsperspektivet i denne analysen er det lagt inn forventet reallønnsvekst på kostnadselementene som gjelder overvåkning, drift og vedlikehold. Investeringskostnadene er også delvis oppbygget av lønnskostnader for intern arbeidskraft, derfor er halvparten av investeringskostnadene forventet å øke med reallønnsveksten (det er vanlig å beregne reallønnsvekst kun på bruk av egen arbeidskraft, prisen på innkjøpte tjenester antas ikke å stige i pris med reallønnsveksten). Reallønnsveksten som er lagt til grunn er 1,3 % de første 40 årene i analyseperioden (2016-2056), dette er i tråd med forventet årlig vekst i BNP i Norge i perioden mot 2060¹. Over lang tid er det imidlertid sannsynlig at produktivitetsøkninger og økt automatisering av arbeidsprosesser gjør at anvendt arbeidskraft til utførelsen av prosjektet går ned. Derfor forutsettes det at reallønnsveksten fra 40 år og til 75 år ut i analyseperioden kun øker med 0,98 %, og de siste 25 årene i analyseperioden med 0,65 %. I årene etter analyseperiodens slutt er det ikke antatt noen reallønnsvekst. Restkostnadene påvirkes derfor ikke av reallønnsveksten.

¹ Perspektivmeldingen 2013

Tabell 2-14: Prissatte virkninger ved endringer i antagelsene om prosentvis årlig reallønnsvekst

	Alter-nativ	Basis-antagelse	Fast 1,3 % reallønns-vekst	Diff. fra basis, fast 1,3 %	Fast 1,6 % lønns-vekst (som i KVVU)	Diff. fra basis, fast 1,6 %	Null reallønns-vekst	Diff fra basis, nullvekst
Stans 2020	0	-3 169	-3 333	-163	-3 703	-534	-2 356	813
	I	-8 335	-8 405	-70	-8 820	-485	-7 095	1 240
	II	-8 381	-8 451	-70	-8 866	-485	-7 137	1 244
	IV	-8 701	-8 770	-69	-9 185	-484	-7 453	1 248
Stans 2100	0	-4 584	-4 821	-237	-5 373	-789	-3 359	1 225
	I	-6 884	-7 183	-299	-7 884	-1 000	-5 311	1 573
	II	-6 894	-7191	-297	-7 896	-1 002	-5 301	1 593
	IV	-7 725	-8 028	-303	-8 750	-1 025	-6 081	1 644

Endrede antagelser om reallønnsvekst har innvirkning på størrelsen av de prissatte virkningene, ved at en høyere forventet lønnsvekst gir mer negative prissatte virkninger. Endrede antagelser endrer imidlertid ikke på rangeringen av alternativer i noen tilfeller.

Virkningen av å endre antagelsen om reallønnsvekst på prissatte virkninger er størst for referansealternativet i scenarioet med tidlig nedstengning, fordi dette alternativet har en større andel overvåking-, vedlikehold- og driftskostnader. I scenarioet med sen nedstengning har imidlertid reallønnseffekten på investeringskostnadene så stor virkning at ved økt reallønnsvekst er den negative virkningen størst for tiltaksalternativene. I tilfellet hvor reallønnsveksten antas å være null vil det ikke være noen reallønnsvekst på investeringskostnadene, noe som gjør at virkningen av å gjøre en antagelse om ingen reallønnsvekst virker sterkere for tiltaksalternativene enn for referansealternativet.

Alt i alt har nivået på forventet reallønnsvekst lite å si for vurderingen av prissatte virkninger.

Neste trinn er å endre på antagelsen om at investeringskostnadene også har et element som øker med reallønnsveksten. Følsomhetsanalysene vi vil gjennomføre dreier seg om å forutsette at det ikke er noen reallønnsvekst i investeringskostnadene overhodet. Vi kombinerer også denne antagelsen med å anta 1,6 % reallønnsvekst i hele analyseperioden, som gir basisantagelsene fra KVVU-en.

Tabell 2-15: Prissatte virkninger ved endrede antagelser om reallønnsvekst på investeringer

	Alternativ	Basis-antagelsen	Ingen reallønns-vekst på invest-ering	Diff. fra basis, ingen reallønns-vekst på investering	Ingen reallønnsvekst OG Fast 1,6 % lønnsvekst (som i KVVU)	Diff, fra basis, fast 1,6 %
Stans 2020	0	-3 169	-3 104	-65	-3 608	-439
	I	-8 335	-7 485	-850	-7 702	633
	II	-8 381	-7 527	-854	-7 744	637
	IV	-8 701	-7 818	-883	-8 029	672
Stans 2100	0	-4 584	-4 457	-126	-5 198	-615
	I	-6 884	-6 231	-653	-6 729	155
	II	-6 894	-6 190	-703	-6 659	235
	IV	-7 725	-6 941	-784	-7 379	346

Ved å ikke anta noen reallønnsvekst i investeringskostnadene blir de prissatte virkningene mindre negative. De endres mest i tiltaksalternativene, fordi investeringskostnadene her er størst. I scenarioet med tidlig nedstengning endres ikke rangeringen mellom alternativene, men ved sen nedstengning blir alternativ II noe bedre enn alternativ I. Det går også tydelig frem at jo større investeringskostnadene er i et alternativ, som øker med mengden brukt brensel sendt til reprosessering, jo større er virkningen av å anta at det ikke er noen vekst i disse kostnadene. For alternativ II ved sen nedstengning er virkningen stor nok til at

rangeringen endres. Det er likevel fortsatt svært likt mellom alternativ I og II, noe det også er med alle andre antagelser om reallønnsvekst.

Ved å bruke de samme antagelsene som KVV-en har gjort, blir prissatte virkninger ved referansealternativet mer negative, og mer positive for tiltaksalternativene. Dette på grunn av høyere reallønnsvekst på OVD-kostnader, og ingen reallønnsvekst på investeringer. Referansealternativet har mye av førstnevnte, og tiltaksalternativene har mye av sistnevnte. Med disse antagelsene blir altså forskjellen mellom alle alternativer mindre.

2.3.6.3. Følsomhetsanalyse ved endret diskonteringsrate

Valg av kalkulasjonsrente for beregning av netto nåverdi har stor betydning for resultatene med en så lang analyseperiode. Finansdepartementets rundskriv R-109/2014 setter føringer for hvilken rente som skal benyttes i samfunnsøkonomiske analyser. For å synliggjøre alternativverdien av å gjennomføre en investering diskonteres kostnads- og inntektsstrømmer til henføringsåret med den risikofrie renten, som er antatt å være 4 prosent. For tidsintervaller lenger frem enn 40 år er det usikkert hva den risikofrie renten i markedet er, derfor velges en lavere rente for å ta høyde for usikkerheten. For intervallet 40 til 75 år skal kalkulasjonsrenten være 3 prosent, og fra 75 til 100 år 2 prosent.

I den faglige debatten innen miljøøkonomi har valg av kalkulasjonsrente og diskonteringsrate lenge vært et omdiskutert tema. I klimapolitikken handler den faglige debatten om kostnader for å redusere klimautslippene i dag skal tillegges større vekt enn de fremtidige kostnadene ved klimaendringene som vil tvinge seg frem dersom det gjøres få tiltak i dag. En lav kalkulasjonsrente legger større vekt på fremtiden, mens en høy rente er mer nærsynt. Et berømt bidrag til litteraturen er Stern-rapporten², som argumenterte for at en lav kalkulasjonsrente burde brukes av etiske hensyn. Denne rapporten talte for en kalkulasjonsrente på 1,4 prosent. Stern-rapporten fikk motsvar av Nordhaus³, som argumenterte for at kalkulasjonsrenten burde baseres på observert adferd i markedene, og at en høyere markedsbasert rente derfor er riktige å benytte. Nordhaus benyttet en kalkulasjonsrente på 5,5 prosent. Nordhaus argumenterte blant annet med at bruk av en for lav kalkulasjonsrente kunne få «perverse» utfall i andre sammenhenger enn klimapolitikken. Redsel for fremtidig atomkrig kunne for eksempel tenkes å utløse preventiv krig mellom stater i dag⁴. For spørsmålet om oppbevaring av radioaktivt avfall gir også lavere kalkulasjonsrente motsatt, og en tilsynelatende «pervers», konklusjon sammenliknet med for klimaendringer. Desto lavere kalkulasjonsraten er, desto dyrere fremstår det å iverksette tiltak for å håndtere radioaktivt avfall på en tilfredsstillende måte. Fordi ingen av de fremtidige kostnadene ved utilfredsstillende lagring av atomavfallet er kvantifisert i analysen får endret diskonteringsrate kun effekt på kostnadene for håndtering av brenselet, som til dels også ligger langt frem i tid. Lavere kalkulasjonsrente bidrar kun til å oppvurdere disse kostnadene.

Tabell 2-16: Følsomhetsanalyse endret diskonteringsrente

	Alternativ	Basis- antagelsen	1,4 % diskonteri- ngsrente	Diff. fra basis 1,4 %	6 % diskonteringsrent e	Diff, fra basis, 6%
Stans 2020	0	-3 169	-8 578	-5 409	-1 889	1 281
	I	-8 335	-16 209	-7 874	-5 699	2 636
	II	-8 381	-16 263	-7 882	-5 731	2 650
	IV	-8 701	-16 602	-7 901	-5 997	2 704
Stans 2100	0	-4 584	-12 762	-8 178	-2 635	1 948
	I	-6 884	-17 590	-10 706	-4 047	2 837
	II	-6 894	-17 760	-10 866	-3 989	2 905
	IV	-7 725	-18 995	-11 270	-4 659	3 066

Endrede antakelser om diskonteringsrate har liten effekt på rangeringen, fordi kun kostnadssiden er kvantifisert, mens «inntektssiden» i form av redusert risiko for uhell og skader er beskrevet som ikke-prissatte virkninger. Dersom denne risikoen derimot hadde vært kvantifisert, med virkninger lenge ut over

² Stern, Nicholas. 2007. The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

³ Nordhaus, William. 2007. A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. Journal of Economic Literature 45: 686–702.

⁴ Ibid.

analyseperioden siden en endelig løsning har positive virkninger for all fremtid, kunne endrede forutsetninger om diskonteringsraten hatt større virkning.

Tabellen viser at endring av diskonteringsraten har liten innvirkning på rangeringen av alternativene. Unntaket er mellom alternativ I og II i ved diskonteringsrate på 6 %, for begge scenarioer. Med en svært lav diskonteringsrate nærmer de prissatte virkningene seg størrelsen på de rene kostnadene uten diskontering.

2.3.6.4. Følsomhetsanalyse ved endret driftskostnad

Alternativene varierer i omfanget av overvåkning og kontroll med det radioaktive avfallet som må opprettholdes. Ved å legge andre antakelser til grunn for drifts- og overvåkningskostnadene kunne det tenkes at rangeringen basert på prissatte virkninger ble endret.

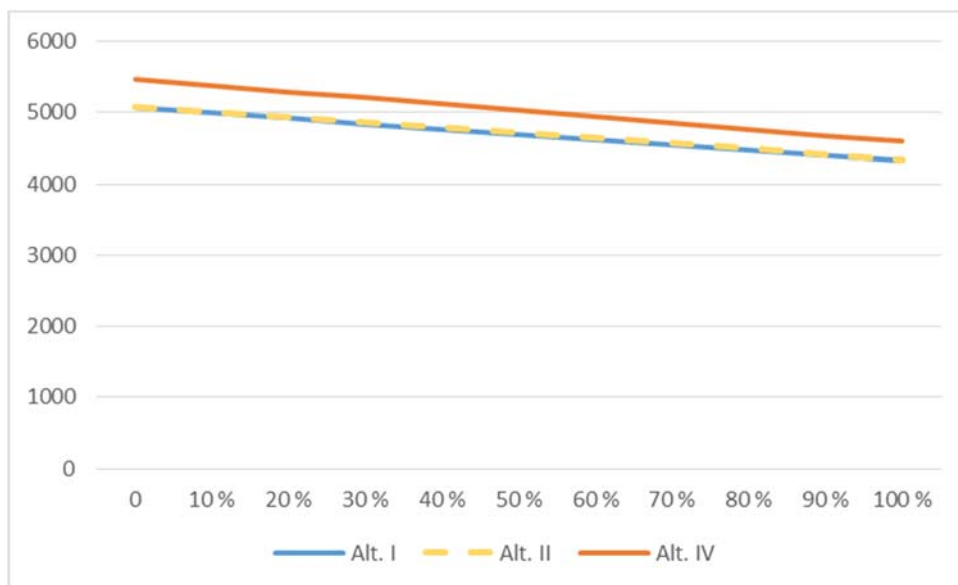
Følsomhetsanalysen er gjennomført ved å se på hvilken konsekvens en prosentvis økning i drifts- og overvåkningskostnadene ved mellomlagring av brukt brensel vil ha for rangeringen av alternativer. I Tabell 2-17 vises utslaget ved en økning i driftskostnadene på 100 prosent. Som det går frem av tabellen endrer ikke en dobling av driftskostnadene på rangeringen mellom alternativene basert på prissatte virkninger.

Tabell 2-17: Netto nåverdi (MNOK) ved endrede driftskostnader

Scenario	Alternativ	Totalkostnad i basisanalysen	Totalkostnad ved dobling av driftskostnader	Differanse	Økning fra totalkostnad i basisanalysen
Stans 2020	0	3169	4428	1259	40 %
	I	8335	8866	531	6 %
	II	8381	8912	531	6 %
	IV	8701	9082	381	4 %
Stans 2100	0	4584	6627	2043	45 %
	I	6884	8598	1714	25 %
	II	6894	8565	1672	24 %
	IV	7725	9357	1632	21 %

I figurene under vises nåverdi av de samlede kostnadene ved tiltaksalternativene relativt til referansealternativet, med endrede forutsetninger om driftskostnadenes størrelse. For at ett av tiltaksalternativene skal rangeres bedre enn referansealternativet må linjen krysse 0 på den vertikale akse.

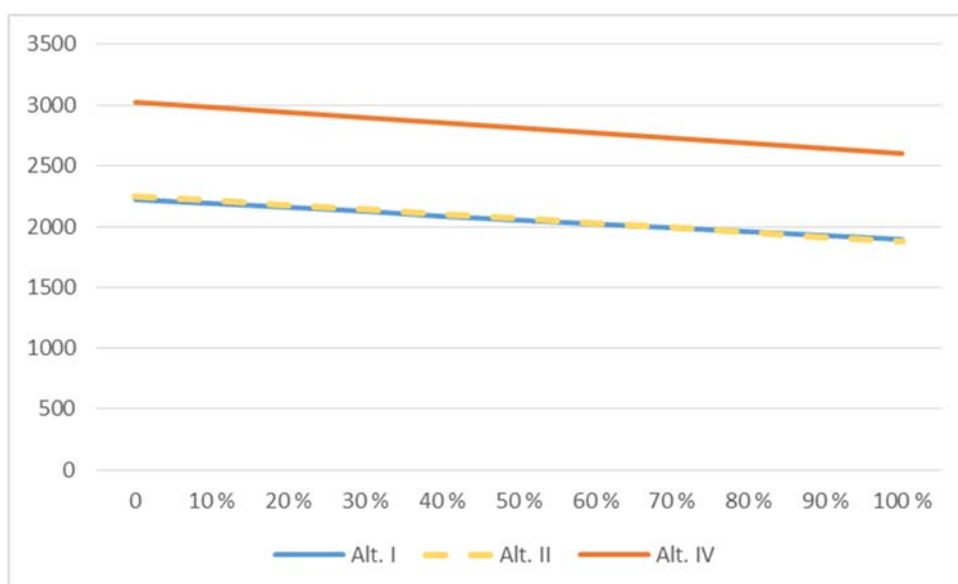
Tabell 2-18: Sensitivitet ved x % økte driftskostnader, stans 2020. MNOK (2016) samlet prissatt virkning relativt til nullalternativet



Her er prissatte virkninger gitt som netto kostnader relativt til referansealternativet; desto mer positive verdiene er, desto dårligere er alternativet sammenliknet med referansealternativet.

Som Tabell 2-18 og Tabell 2-19 viser er resultatene svært lite sensitive for endringer i driftskostnadene. I begge scenarioer gir doubling i driftskostnadene ca. 15 % reduksjon i forskjellen mellom referansealternativene og de andre alternativene. Det må mer enn en seksdobling av driftskostnadene før noen av alternativene kommer bedre ut på prissatte virkninger enn referansealternativet. Rangeringen internt mellom tiltaksalternativene påvirkes også lite av endrede driftskostnader. I Error! Reference source not found. krysser linjen for alternativ II linjen for alternativ I ved 70 % økning i driftskostnadene, som viser at ved sen nedstengning må en så stor økning i driftskostnadene til før det lønner seg å sende alt ustabil brensel til reprosessering fremfor kun det metalliske brenselet.

Tabell 2-19: Sensitivitet ved x % økte driftskostnader, stans 2100. MNOK (2016) samlet prissatt virkning relativt til nullalternativet



2.3.7. Samlet vurdering prissatte virkninger

Tabell 2-20: Rangering etter prissatte virkninger, relativt til referansealternativet

	Referansealternativ	Alternativ I	Alternativ II	Alternativ IV
Stans i 2020	-	-5 170	-5 210	-5 530
Rangering	1	2	3	4
Stans i 2100	-	-2 300	-2 310	-3 150
Rangering	1	2	3	4

Alle tiltaksalternativene kommer dårligere ut enn referansealternativet i vurdering av prissatt nytte. Mellom tiltaksalternativene (I, II og IV) rangeres alternativ I høyest på prissatte effekter.

I tiltaksalternativene er det store kostnader som i stor grad er uavhengig av mengden brukt brensel, som dypdeponi. Dette gjør forskjellen mellom referansealternativet og de andre alternativene svært stor. I tillegg er den sentrale forskjellen mellom alternativene, mengden avfall som sendes til reprosessering, kjennetegnet ved en kostnad som i stor grad er proporsjonal med denne mengden. Derfor er alternativ I, hvor mengden brukt brensel sendt til reprosessering er minst, det rimeligste av tiltaksalternativene. Alternativ IV, hvor alt brukt brensel sendes til reprosessering, er det dyreste.

Rekkefølgen på alternativene i rangeringen er lik uavhengig av tidspunkt for nedstengning av reaktorene. De mindre negative prissatte virkningene knyttet til alternativene i scenarioet med sen nedstengning henger sammen med at her gjøres flere av investeringene på et senere tidspunkt, og diskonteringseffekten blir derfor sterkere.

Følsomhetsanalyser på endrede antagelser om reallønnsvekst har liten innvirkning på rangeringen av alternativene. Det er kun den fra før av svært lille forskjellen mellom prissatte virkninger for alternativ I og II som påvirkes kvalitativt i to tilfeller ved sen nedstengning, ved at alternativ II kommer bedre ut enn alternativ I. Tatt i betraktning at usikkerheten rundt størrelsene er langt større enn den kvantitative forskjellen mellom disse to alternativene vurderes dette til å ha liten innvirkning på rangeringen og anbefalingen av alternativene. Dette påvirkes i større grad av vurderingen av ikke-prissatte nyttevirksomheter som diskuteres i avsnitt 2.4.

2.3.8. Usikkerhet i kostnadsanslagene

Det er stor usikkerhet i kostnadsanslagene, både på grunn av usikkerhet om de enkelte kostnadselementene og på grunn av usikkerhet på prosjektnivå. Det henvises til Vedlegg 2 – Usikkerhetsanalyse for en detaljert beskrivelse av usikkerheten.

2.4. Ikke prissatte virkninger

Basert på kartleggingen av behov, mål og krav, samt en vurdering av ikke-intenderte virkninger av tiltaket, fremkommer følgende seks ikke-prissatte virkninger:

- Redusert risiko for skadelige virkninger for befolkningens helse
- Redusert risiko for skadelige virkninger for natur og miljø
- Styrket samfunnssikkerhet
- Redusert verdi av nærområder
- Opplevd trygghet hos befolkningen
- Styrket internasjonalt omdømme

De ikke-prissatte virkningene er vurdert hver for seg, etter hvilken samfunnsbetydning de har, og hvor stort omfang virkningen vil ha i hvert enkelt konsept. Kombinasjonen av betydning og omfang gir konsekvens, og vi benytter en 11-delt skala for å angi konsekvensen. Fem plusstegn (+++++) angir en svært positiv

konsekvens relativt til nullalternativet, 0 angir at konsekvensen er tilsvarende som for nullalternativet, mens fem minustegn (-----) angir en svært negativ konsekvens relativt til nullalternativet.

2.4.1. Redusert risiko for skadelige virkninger for befolkningens helse

Radioaktivt stråling i store doser kan være livsfarlig. Også i mindre doser kan radioaktivitet være sykdomsfremkallende, med forkortet levetid som følge. Statens strålevern skriver følgende⁵:

Radioaktiv stråling over visse nivåer kan gi alvorlig helseskade. Ved høye verdier er radioaktiv stråling dødelig. Helseeffektene avhenger av hvor nær man har oppholdt seg strålekilden, hvor lenge og hvorvidt man har vært ubeskyttet eller ikke.

Sannsynligheten for skade er relativt liten, men øker med stigende dose. Grovt sett kan man dele konsekvensene i to hovedgrupper: Effekter som viser seg innen timer eller få dager (Høye stråledoser), og Effekter som kan føre til fosterskade eller kreft på et senere tidspunkt (Lavere stråledoser).

Høye stråledoser kan gi sykdomstegn som kvalme, brekninger, diaré og hodepine, som oppstår akutt i løpet av minutter til få timer etter bestrålingen. De kan gi akutt stråleskade av ett eller flere organer. Dødeligheten er lav ved doser på 1-2 Sv (Sievert – måleenheten for stråledose), mens få overlever ved doser over 7-8 Sv. Helseeffektene avhenger av hvor nær man har oppholdt seg strålekilden eller hvor mye radioaktivt stoff man har fått i seg, hvor lenge man er blitt bestrålt og hva man eventuelt har beskyttet seg med. Sykdomstegn og blodprøver kan indikere om man har mottatt høye stråledoser. Med mindre man har fått svært høye stråledoser vil man ikke få merkbare symptomer fra selve strålingen.

Lavere stråledoser: Stråling kan også gi fosterskader og visse typer kreft. Sannsynligheten for skade er relativt liten, men øker med stigende dose. Ved stråledoser under 0,1 Sv er det vanskelig å fastslå om man har mottatt øket stråling ved hjelp av blodprøver.

I normalsituasjonen behandles og oppbevares alt radioaktivt avfall på en måte som sikrer at hverken ansatte på anleggene eller befolkningen generelt utsettes for skadelige stråledoser. Det er således først ved en ulykke helseskader vil kunne oppstå. Sannsynligheten for slike ulykker er svært lav, også i dagens situasjon. Statens strålevern fører tilsyn med anleggene, og alle rutiner og planverk ettergås og godkjennes.

Likevel vil det alltid være en restrisiko for en ulykkeshendelse ved fortsatt lagring av høyaktivt radioaktivt avfall, som brukt brensel. I samfunnsøkonomiske analyser medtas som hovedregel ikke hendelser som inntreffer med svært lav sannsynlighet. Samtidig understrekes det i NOU 2012:16 at føre var-prinsippet bør legges til grunn der det er risiko for irreversible virkninger og/eller katastrofer. Etter vårt syn vil det være riktig å vektlegge selv en begrenset reduksjon i sannsynlighet for en ulykkeshendelse som utsetter befolkningen for radioaktiv stråling.

Betydningen av skadevirkninger for befolkningens helse må anses å være stor. I dagens situasjon er det enkelte utfordringer knyttet særlig til lagringsforholdene for det metalliske brenselet. Det må derfor kunne legges til grunn at en stabilisering av det metalliske avfallet, samt etablering av nytt mellomlager og deponi, vil redusere risikoen for en ulykkeshendelse. Dette til tross for at selve flyttingen av avfallet isolert sett vil kunne gi økt risiko for en uønsket hendelse. Totalt sett anser vi at alle tiltaksalternativene vil medføre en liten reduksjon i ulykkesrisikoen ved at brukt brensel deponeres og det metalliske brenselet stabiliseres. Dette medfører et lite, men positivt omfang. I vår ellevedelte skala vil dette gi +++ for alternativ I Minimal reprosessering.

Alternativ II og alternativ IV medfører i tillegg en redusert ulykkesrisiko i forhold til alternativ I ved at det aluminiumskapslede oksidbrenselet stabiliseres ved et etablert reprosesseringsanlegg i stedet for at det utvikles en egen metode for dette spesifikt ved IFE. Alternativ II med reprosessering også av det aluminiumskapslede avfallet innebærer derfor en forbedring sammenlignet med alternativ I, tilsvarende (+).

Full reprosessering vil gi en ytterligere reduksjon i ulykkesrisikoen, fordi alt avfallet fra brukt brensel vil bli enhetlig og lettere håndterbart, noe som vil redusere risikoen for menneskelig feil ved håndteringen. Vitrifisert avfall, som vi får i retur fra reprosessering, vil i tillegg ha en ekstra barriere mot utslipp ved at det leveres i glassform. Dette reduserer sjansen for at radioaktivitet lekker ut i miljøet fra et deponi og skader

⁵ <http://www.nrpa.no/nyheter/88411/spoersmaal-og-svar-om-helsekonsekvenser-ved-straaling>

befolkningens helse. Alternativ IV med full repossessering innebærer en ytterlige forbedring, her synliggjort ved en ekstra +.

I begge scenario for nedstengningstidspunkt legges det til grunn at det metalliske brenselet, som i størst grad påvirker ulykkesrisikoen, stabiliseres ved hjelp av repossessering tidlig i perioden. Noen tidsforskjeller knyttet til når det etableres deponi, og noe økt volum av brensel av i scenarioet med sen nedstengning vil isolert sett kunne påvirke ulykkesrisikoen, men dette er så marginalt at det ikke gir ulike utslag for de to scenarioene i vurdering av virkningens konsekvens.

I vår ellevedelte skala vil dette gi +++ for de fire tiltaksalternativene.

Tabell 2-21 Redusert risiko for skadelige virkninger for befolkningens helse

Scenario	Betydning	Alt 0	Alt I	Alt II	Alt IV
Stans 2020	Stor	0	+++	+++(+)	++++
Stans 2100	Stor	0	+++	+++(+)	++++

2.4.2. Redusert risiko for skadelige virkninger for natur og miljø

Radioaktive stoffer som spres i naturen kan tas opp i næringskjeden. Det betyr at dyr kan utsettes for skadevirkninger, og at mennesker som spiser dyrene får svekket helse. Virkningen på befolkningens helse som er beskrevet over er således både direkte og indirekte gjennom virkningene for natur og miljø.

Tsjernobyl-ulykken var et eksempel på hvordan skadevirkningene for natur og miljø kan være betydelige også langt unna ulykkesstedet. I Norge medførte ulykken blant annet høye strålingsnivåer i sopp, fisk, reinsdyr og beitedyr som sau⁶. Stråling vil kunne medføre død eller sykdom hos dyr som hos mennesker⁷.

Risikoen for ulykker knyttet til behandling og oppbevaring av norsk radioaktivt avfall er svært liten, slik det er beskrevet i kapitlet over. Føre var-prinsippet tilsier likevel at selv en liten reduksjon i denne ulykkesrisikoen bør tillegges vekt. Vi har derfor i utgangspunktet behandlet virkningen for natur og miljø på samme måte som virkningen for befolkningens helse.

I tillegg til virkningen som følger av en eventuell ulykke, må det her også hensyntas virkninger for miljøet som følger av repossessering. Repossessering gir noe utslipp av radioaktivt materiale til luft og vann. Alle alternativer der repossessering inngår, gir således noe økte miljøskader. Samtidig må det bemerkes at utslippene fra repossessering er blitt betydelig redusert i den senere tid. Dersom repossessering skjer ved Arevas fabrikk i Frankrike, vil det gi vesentlig lavere utslipp enn det som historisk har vært situasjonen fra anlegg som Sellafield.

En rapport fra United Nations Environment Programme (UNEP) fra 2006⁸ sier følgende om helseskader og miljøskader som følger av radioaktive utslipp til sjø:

All contemporary practices involving large amounts of radionuclides are authorized in conformity with the International Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and the Safety of Radiation Sources (iaea1996). Although accidents can occur, the impacts on human health and the environment are generally of minor significance.

UNEP viser til at naturlig forekommende radioaktivitet utgjør en større risiko for det marine miljø enn utslipp fra atomindustrien. UNEP trekker fram Arktis som et område som er særlig sårbar for konsekvensene av radioaktiv stråling, men at nivåene er lave og ikke gir grunnlag for bekymring. Det pekes likevel særskilt på utslippene av langlivet radioaktivt materiale fra repossessering i Vest-Europa, men konklusjonen i UNEPs

⁶ <http://www.miljostatus.no/Tsjernobyl-ulykken/>

⁷ <http://forskning.no/forurensning-miljoovervakning-miljoovernaturvern-biologi-evolusjon-radioaktivitet/2014/04/fugler>

⁸ UNEP 2006: The State of the Marine Environment

rapport er at “most of the contamination comes from natural sources rather than human activities and public concern on the subject is not generally supported by objective risk assessments”.

OSPAR-kommisjonen måler radioaktive utslipp til nordøstre del av Atlanterhavet. I 2013 målte de følgende nivåer:

Tabell 2-22: Utslipp av radioaktivitet i OSPAR-havområdene

	Utslipp fra reprosesserings- anlegg	Utslipp fra reprosesserings- anlegg La Hague	Utslipp fra oljesektoren
Alfa—stråling fra utslipp	0,15 TBq	0,02 TBq	6,5 TBq
Beta-stråling fra utslipp (ekskl. tritium)	9,89 TBq	3,04 TBq	4,3 TBq
Tritium	14 800 TBq	13 400 TBq	0,14 TBq

Kilde: OSPAR, *Liquid discharges from nuclear installations, 2013* / OSPAR, *Discharges of Radionuclides from the Non-nuclear Sectors in 2013*. 1 TBq = 10¹² Bequerel

Alfa- og beta-strålingen (med unntak av Tritium) fra utslipp fra reprosessering i La Hague er svært begrenset, og lavere enn for eksempel utslippene fra oljesektoren (der norsk sokkel står for en betydelig andel). Utslippene av tritium er langt mer omfattende. Likevel er det tvilsomt om disse tritium-utslippene har nevneverdig virkning på det marine miljø. La Hauge har i 2015⁹ målt opp mot 12 Bq per liter sjøvann som et resultat av tritium-utslipp. Dette er lavere enn den naturlige tilstedeværende strålingen fra potassium-40. Til sammenligning anbefaler Statens strålevern tiltak for forbedring av drikkevannet først når det måles 500 Bq per liter¹⁰.

Areva selv hevder at anlegget i La Hague kun gir en strålevirkning på mindre enn 10 mikrosievert for de menneskene som er mest eksponert for utslipp fra anlegget¹¹. Den naturlige bakgrunnsstrålingen i området gir til sammenligning en effekt på 2 400 mikrosievert.

En reprosessering av norsk avfall i La Hague vil utgjøre mindre enn en prosent av det årlige reprosesseringsvolumet på anlegget. Utslippene som følger av dette er så marginale at det ikke kan tillegges vekt i vurderingen av skadelige virkninger på natur og miljø. Det blir derfor risikoen for skadelige virkninger knyttet til oppbevaringen av avfallet som tillegges vekt i denne virkningen.

Vurdering av betydning og omfang er tilsvarende som for virkningen for helse.

Tabell 2-23 Redusert risiko for skadelige virkninger for natur og miljø

Scenario	Betydning	Alt 0	Alt I	Alt II	Alt IV
Stans 2020	Stor	0	+++	+++(+)	++++
Stans 2100	Stor	0	+++	+++(+)	++++

2.4.3. Styrket samfunnssikkerhet

En såkalt skitten bombe er en bombe som kombinerer konvensjonelt sprengstoff med radioaktivt materiale. En slik bombe vil kunne spre det radioaktive materialet over store områder. Detonasjon av en skitten bombe

⁹ <http://www.areva.com/EN/operations-2350/areva-la-hague-environmental-sampling-report.html>

¹⁰ <http://www.nrpa.no/fakta/90036/radon-i-vann>

¹¹ <http://www.areva.com/EN/operations-1186/balance-impact-on-humans-of-areva-la-hague-activities.html>

anses av flere som et mulig scenario for en terroraksjon. Terrororganisasjonen IS har blant annet hevdet at de har tilgang til det nødvendige materiale for å fremstille en slik bombe¹². NATO anser at den relativt lave kostnaden ved å frembringe en skitten bombe gjør dette til et mer sannsynlig scenario enn sprengning av en atombombe¹³.

Det har stor betydning for samfunnet at vi er sikret mot terroristangrep. En detonasjon av en skitten bombe av noe størrelse i en større by vil kunne kreve at et betydelig område må avspærres over lang tid. Dette vil ha negative konsekvenser for økonomi og velferd.

God fysisk sikring av det radioaktive avfallet er avgjørende for å forhindre at radioaktivt materiale kommer på avveie. Derfor er det betydelige sikkerhetsforanstaltninger der det oppbevares radioaktivt avfall. Sikkerheten også i dagens situasjon må anses å være god, samtidig som det er kommet enkelte kritiske bemerkninger fra IAEA knyttet til sikkerheten på Kjeller¹⁴. Etablering av nytt mellomlager og nytt deponi, med tilhørende sikkerhetsforanstaltninger, må kunne anses å øke sikkerheten noe fra dagens situasjon og nullalternativet.

Et forseglet deponi er sikrere enn et mellomlager. Slik sett er konseptene der deponiet fylles og stenges raskt sikrere enn konsepter der deponiet først stenges sent i analyseperioden. Forskjellene i virkning for samfunnssikkerheten anses likevel for så små som en følge av dette, at det for alle praktiske formål er hensiktsmessig å si at alle de fire tiltaksalternativene i begge de to scenariene kommer likt ut.

Siden risikoen for at radioaktivt avfall kommer på avveie er svært lav også i nullalternativet, indikerer vi dette med å angi konsekvensene i tiltaksalternativene som +++.

Tabell 2-24 Styrket samfunnssikkerhet

Scenario	Betydning	Alt 0	Alt I	Alt II	Alt IV
Stans 2020	Stor	0	+++	+++	+++
Stans 2100	Stor	0	+++	+++	+++

2.4.4. Redusert verdi av nærområder

Inngrep i naturen som eventuelt følger ved en etablering av mellomlager og deponi vil kunne påvirke befolkningens bruk av området, og dermed nytteverdien av området. Etableringen av en vei gjennom et tidligere uberørt skogsområde kan for eksempel redusere verdien av området som turmål.

Denne virkningen vil først og fremst treffe dem som bor nært ved nyoppførte anlegg. Siden store deler av konstruksjonene det her er snakk om vil ligge under bakken, vil naturinngrepene være begrenset.

Når lagrene flyttes fra Kjeller og Halden vil det i teorien kunne gi en økt verdi av disse områdene. Siden alternativ bruk av anleggene på Kjeller og i Halden høyst sannsynlig er fortsatt nukleær virksomhet eller annen næringsvirksomhet, er det likevel lite trolig at denne positive virkningen vil være av betydelig størrelse.

Selv om betydningen av naturinngrep kan føles svært stor for dem som i størst grad berøres, synes det klart at denne virkningen må anses å ha langt mindre samfunnsbetydning enn de tre tidligere vurderte virkningene. Her påvirkes i liten eller ingen grad liv og helse. Betydningen anses derfor å være liten.

Omfanget av virkningen vil være avhengig av lokaliseringen og utformingen av anleggene. Det kan tenkes at omfanget vil være svært nær null, for eksempel dersom innkjøringen til anlegget skjer rett fra eksisterende vei inn en port i fjellet. Vi legger likevel til grunn at et mellomlager og eller et deponi vil gi noen naturinngrep som oppleves som negative av noen brukere av området, men at omfanget er lite. Dette gjelder likt for alle alternativer og begge scenarier, da det er de samme anleggenes som oppføres.

¹² <http://www.dagbladet.no/2015/06/11/nyheter/is/terror/utenriks/eksremisme/39607029/>

¹³ http://www.nato.int/docu/Review/2010/Nuclear_Proliferation/dirty_bomb/EN/index.htm

¹⁴ <http://www.rb.no/nyheter/ife/skedsmo/atomreaktoren-er-ikke-godt-nok-sikret-mot-terror-na-tas-det-grep/s/5-43-158327>

Tabell 2-25 Redusert verdi nærområder

Scenario	Betydning	Alt 0	Alt I	Alt II	Alt IV
Stans 2020	Liten	0	-	-	-
Stans 2100	Liten	0	-	-	-

2.4.5. Opplevd trygghet hos befolkningen

De faktiske skadevirkninger av en ulykke knyttet til behandling og oppbevaring av radioaktivt avfall er beskrevet i de tre første virkningene. Befolkningens velferd vil kunne påvirkes ikke bare av faktiske ulykker, men også av frykten for ulykker og konsekvensene av disse. En slik frykt kan gi redusert velferd som en følge av angst, men kan også redusere verdien av anleggenes nærområder, fordi disse ikke blir brukt.

Det er ingenting som tyder på at befolkningen generelt i dag har store bekymringer for ulykker knyttet til radioaktivt avfall i Norge. Heller ikke naboene til anleggene i Halden, på Kjeller eller i Himdalen synes å oppleve utrygghet.

Det er derfor lite trolig at etableringen av nytt mellomlager og nytt deponi vil gi økt trygghetsfølelse i befolkningen, selv om den reelle ulykkesrisikoen skulle reduseres noe. Faktisk kan det sannsynliggjøres at trygghetsfølelsen i en periode vil bli redusert. Oppmerksomheten om problemstillingen, som naturlig vil følge av tiltaket, vil i seg selv kunne skape utrygghet hos enkelte. Naboer til et eventuelt oppbevaringsanlegg på et nytt sted vil antagelig bruke noe tid på å bli komfortabel med naboskapet, og i denne perioden vil antagelig omkringliggende arealer bli brukt i mindre grad enn tidligere. Vi legger derfor til grunn at alle alternativene i en kortere periode vil gi noe svekket trygghetsfølelse hos deler av befolkningen. Dette gjelder uavhengig av når anlegg etableres, og dermed likt i begge scenarier.

Selv om opplevd utrygghet kan gi reelle virkninger for psykisk helse og velferd, er betydningen av utrygghet mindre enn faktiske skader på helse, natur og miljø. Vi anser at betydningen av denne virkningen er liten, også fordi den antagelig bare virker på kort sikt.

Tabell 2-26 Opplevd trygghet hos befolkningen

Scenario	Betydning	Alt 0	Alt I	Alt II	Alt IV
Stans 2020	Liten	0	-	-	-
Stans 2100	Liten	0	-	-	-

2.4.6. Styrket internasjonalt omdømme

Norges adferd knyttet til behandling og oppbevaring av radioaktivt avfall kan få følger for norsk omdømme i enkelte internasjonale kretser. Nukleære spørsmål følges blant annet tett av miljøbevegelsen, som ved tidligere hendelser i andre samfunnssektorer har skapt negativ oppmerksomhet om norske forhold, som kan anses å ha skadet Norges internasjonale omdømme¹⁵. Skadevirkningen anses likevel gjerne som kortvarig.

Det er omdiskutert hvilke effekter Norges omdømme har for norsk velferd. Det kan likevel antas at et svekket omdømme i noen grad vil kunne redusere Norges handlingsrom, og muligheten til å fremme norske interesser og norsk næringsliv i utlandet. Samfunnsbetydningen må likevel anses som liten.

Etableringen av et deponi i Norge vil vise at Norge er i front i verden når det gjelder å følge bestepsaksis for oppbevaring av radioaktivt avfall. Dette vil isolert sett styrke Norges omdømme. Dersom deponiløsningen som realiseres er et samarbeid med annet land, slik at norsk avfall lagres utenfor Norges grenser, kan dette svekke norsk internasjonalt omdømme i enkelte miljøer, fordi en slik beslutning vil kunne anses å «legitimere» dumping av radioaktivt avfall i andre land. Det bør likevel være slik at denne negative effekten

¹⁵ <http://www.aftenposten.no/nyheter/uriks/--Vi-skall-ikke-overdrive-vart-omdomme-som-fredsnasjon-7057657.html>

er svært begrenset, da et slikt internasjonalt samarbeid høyst sannsynlig vil være mellom to «likestilte land», og sikkerheten i deponiet som velges vil tilfredsstille alle krav.

Norsk omdømme kan påvirkes noe annerledes avhengig av om deponiet som etableres er et dypdeponi eller et grunnere deponi. Tidspunktet for når deponiet etableres og stenges vil også kunne ha innvirkning. Omfanget av effekten er likevel så begrenset i alle tiltaksalternativene at vi ikke legger stor vekt på disse små forskjellene mellom tiltaksalternativene og scenariene.

Noen vil hevde at et valg om reprosessering av brukt brensel i utlandet vil kunne svekke det norske omdømme. Kvalitetssikrer legger til grunn at de fleste kjernekraftproduserende land som reprosesserer sitt brukte brensel gjør dette i utenlandske anlegg og at de aktuelle anleggene er internasjonalt anerkjente med høy grad av sikkerhet og lav risiko for ulykker eller sabotasje. Kvalitetssikrer mener derfor at det ikke er grunn til å anta at et valg om reprosessering vil svekke Norges omdømme.

Tabell 2-27 Styrket internasjonalt omdømme

Scenario		Lokalisering av deponi	Betydning	Alt 0	Alt I	Alt II	Alt IV
Stans 2020	I Norge	Liten	0	+(+)	+(+)		+(+)
	I utlandet	Liten	0	(-)	(-)		-
Stans 2100	I Norge	Liten	0	+	+		+
	I utlandet	Liten	0	(-)	(-)		-

2.4.7. Ikke-prissatte virkninger oppsummert

Dersom man legger føre var-prinsippet til grunn, er det klart at alle tiltaksalternativene kommer betraktelig bedre ut enn nullalternativet isolert for de ikke-prissatte virkningene. Dette er fordi stabilisering av det metalliske brenselet og deponering av brukt brensel i et forseglet dypdeponi vil redusere risikoen for ulykke ved dagens lagre, som kan gi svært negative konsekvenser for helse og miljø, og redusere risikoen for at uvedkommende får tak i avfallet og dermed styrke samfunnssikkerheten. Risikoen for ulykke eller terrorisme er i utgangspunktet lav, men fordi betydningen av en ulykke eller terroraksjon anses som stor, vil selv en liten reduksjon i risikoen ha stor verdi.

Det er noen forskjeller mellom tiltaksalternativene i vurderingen av de ikke-prissatte effektene. Stabilisering av aluminiumskapslet brensel ved IFE innebærer bruk av en ikke utprøvd metode og gir derfor en noe høyere risiko enn dersom dette avfallet reprosesserer i et kommersielt anlegg. Alternativ II og IV vurderes derfor som noe bedre enn alternativ I når det gjelder redusert risiko for helse- og miljøskader.

Dersom alt brukt brensel reprosesserer vil avfallet som kommer i retur være enhetlig og enklere håndterbart, som anses å redusere ulykkesrisikoen ytterligere. Alternativ IV vurderes derfor som noe bedre enn alternativ II på de ikke-prissatte effektene.

Vurderingen av de ikke-prissatte effektene oppsummeres i Tabell 2-28.

Tabell 2-28: Ikke-prissatte virkninger, sammenstilling

	Alternativ	Redusert risiko helse-skader	Redusert risiko miljø-skader	Styrket samfunns-sikkerhet	Redusert verdi av nær-områder	Redusert opplevd trygghet	Styrket inter-nasjonalt omdømme	Rang
Stans 2020	I Minimal repressering	+++	+++	+++	-	-	+(+)	3
	II Represser alt ustabil	+++(+)	+++(+)	+++	-	-	+(+)	2
	IV Full repressering	++++	++++	+++	-	-	+(+)	1
Stans 2100	I Minimal repressering	+++	+++	+++	-	-	+	3
	II Represser alt ustabil	+++(+)	+++(+)	+++	-	-	+	2
	IV Full repressering	++++	++++	+++	-	-	+	1

Dersom deponiløsningen som realiseres er et samarbeid med annet land, slik at norsk avfall lagres utenfor Norges grenser, blir vurderingen 0, (-), (-), -

2.5. Usikkerhetsvurderinger

Bør vi si noe om samfunnsøkonomisk usikkerhet?

2.6. Fordelingsvirkninger

Fordelingsvirkninger er virkninger for enkeltgrupper i samfunnet, som motvirkes av en motsatt virkning for en annen gruppe. Dermed oppstår det ingen effekt for samfunnet totalt sett. Et eksempel på en fordelingseffekt kan være flyttingen av en motorvei fra ett sted til et annet; da vil de som bor langs den gamle traseen få en positiv effekt i form av redusert støy og luftforurensning, mens de som bor langs den nye traseen vil få en negativ effekt. Dersom det bor like mange mennesker langs den nye og den gamle traseen, utligner de to fordelingseffektene hverandre.

Den klart viktigste fordelingsvirkningen som følger av de alternative tiltakene i denne KVVU-en er knyttet til fordeling mellom generasjoner. Som tidligere vist er det et viktig prinsipp at forurensere skal betale, og at hver generasjon skal rydde opp etter seg. Alle alternativer der det ikke finnes en endelig løsning for håndtering av avfall som er skapt av vår generasjon, vil overføre en byrde til kommende generasjoner.

I alternativene der deponiet først bygges sent i analyseperioden, vil kommende generasjoner belastes i større grad enn i alternativer der deponiet bygges tidlig. Aller dårligst kommer kommende generasjoner ut i nullalternativet, der det ikke etableres noen varig løsning for avfallet.

Alle tiltaksalternativer i scenario tidlig nedstengning realiserer et deponi i nær fremtid. Disse alternativene gir derfor en begrenset fordelingsvirkning, og kommer bedre ut enn øvrige alternativer. Tiltaksalternativene i scenario sen nedstengning kommer noe dårligere ut, mens null-alternativet i begge scenarier kommer klart dårligst ut isolert sett for denne fordelingsvirkningen.

Denne negative fordelingsvirkningen kan reduseres ved å finansiere deponiet nå ved hjelp av fondsavsetninger. Usikkerhet om fremtidige forhold tilsier likevel at en slik løsning ikke garanterer for at fremtidige generasjoner kommer skadesløs ut av situasjonen, slik en bygging av deponi raskt vil gjøre.

Tabell 2-29 Fordelingsvirkninger

	Alternativ	Fordelingsvirkning		Rang
		Overfører byrder til fremtidige generasjoner		
		Betydning	Omfang	
Stans 2020	0	Stor negativ	Stort	4
	I Minimal reprosessering		Intet	1
	II Reprosesser alt ustabilt		Intet	1
	IV Full reprosessering		Intet	1
Stans 2100	0		Stort	4
	I Minimal reprosessering		Noe	1
	II Reprosesser alt ustabilt		Noe	1
	IV Full reprosessering		Noe	1

2.7. Realopsjoner

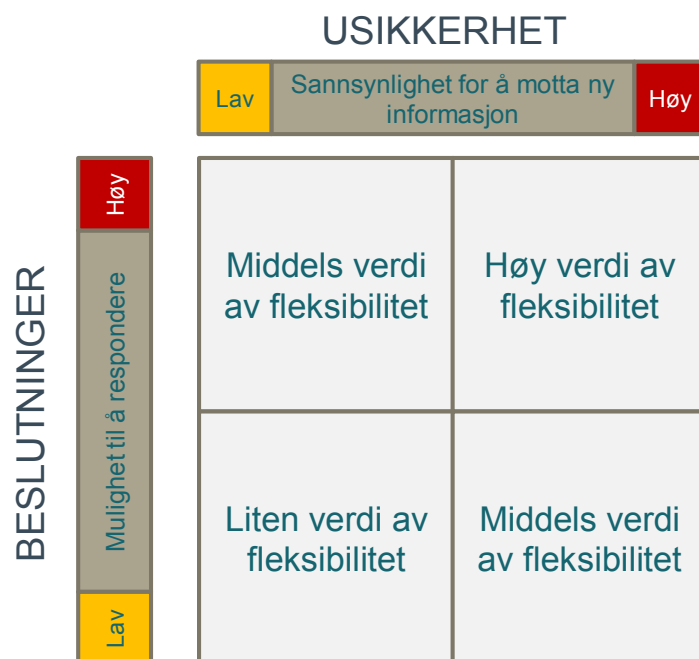
I vurderingen av konseptvalg er det også av betydning hvor fleksible løsningene er for mulige endringer i forutsetningene for prosjektet. Et alternativ som gir fleksibilitet er å foretrekke fremfor andre alternativer, alt annet gitt. En realopsjon bør tillegges vekt dersom følgende fire kriterier er oppfylt:

1. Det må være usikkerhet knyttet til sentrale forhold i prosjektet
2. Denne usikkerheten vil avklares etter hvert
3. En vil kunne respondere adekvat på denne avklarte usikkerheten
4. Responsen vil utløse en redusert kostnad eller økt nytte

Realopsjonen gir på denne måten en mulighet for å realisere en samfunnsøkonomisk verdi.

Usikkerhet i et prosjekt kan både være av typen milepælsusikkerhet og mer kontinuerlig. Milepælsrisiko er en type risiko som kan sies å være direkte knyttet til en bestemt hendelse eller størrelse, og innebærer at det er risiko knyttet til utfallet av en eller flere særskilte hendelser, eller milepæler, fram i tid. Så snart usikkerheten knyttet til denne hendelsen er avklart, vil deler av risikoen i prosjektet være fjernet. I figuren nedenfor har vi illustrert forholdet mellom usikkerhet og beslutninger og verdien av fleksibilitet.

Tabell 2-30: Illustrasjon av forholdet mellom usikkerhet og beslutninger



Kilde: Oslo Economics og Atkins Norge

Det finnes flere ulike former for realopsjoner. Man kan utsette hele beslutningen, for å avvente ny informasjon som reduserer usikkerheten. Man kan gå trinnvis frem, med å gjennomføre delprosjekter, der hvert delprosjekt gir læring som kan være nyttig når neste delprosjekt skal besluttes. Men man kan også gjøre investeringen med en gang, men bygge inn muligheten til fleksibilitet, enten i volum, eller i produksjonsmetode (for eksempel kan man bygge en skole større enn det akutte behovet, eller man kan investere i en oppvarmingsløsning som kan fungere med både gass, elektrisitet og biomasse).

De største usikkerhetene knyttet til konseptvalg for valg av løsning for oppbevaring av atomavfall, knytter seg til teknologisk utvikling på feltet, og muligheten for endring i holdningen til internasjonalt samarbeid. Dersom det i fremtiden kommer nye metoder for stabilisering eller dypdeponering, vil disse metodene potensielt kunne gi store besparelser.

Det kan tenkes at man i fremtiden vil få ny teknologi for stabilisering av aluminiumskapslet oksidbrensel, for eksempel gjennom utvikling av løsninger for omkapsling av avfallet. Slik teknologi kan da bli et alternativ til reprosessering for denne avfallstypen. I denne sammenheng er det viktig å påpeke at det ikke synes å være realistiske alternativer til stabilisering av metallisk brukt brensel i nær fremtid.

Teknologisk endring kan også påvirke valgt løsning for deponi; kanskje vil det for eksempel utvikles løsninger med borehull som er like gode, men mindre kostbare enn den svenske modellen. USA bruker store ressurser på forskningsprogrammer på borehullsteknologi og dette kan tenkes å resultere i nye og billigere løsninger i fremtiden. Flere andre kjernekraftproduserende land bruker store ressurser på å utvikle deponiløsninger. Skottland etablerer et mellomlager for mellomaktivt avfall og toriumavfall i Dounreay nær overflaten. Dette mellomlageret kan tenkes å få konsesjon som et deponi, men status for dette er i dag usikker. Dersom dette anses som et forsvarlig deponi av denne typen avfall kan det være en mulighet også for Norge dersom man sender alt brukt brensel til reprosessering og velger å få avfallet i retur som mellomaktivt vitrifisert avfall. Dersom man velger å få avfallet i retur som mellomaktivt får man også en realopsjon som kan tenkes å utløse muligheter for et enklere og billigere deponi i fremtiden.

Dersom holdningen til internasjonalt samarbeid om ivaretagelse av atomavfall endrer seg på et tidspunkt i fremtiden, kan det vise seg at det blir enklere å få benytte det svenske eller finske deponiet, slik at vi ikke må ta kostnaden ved å etablere deponi i Norge. Alternativt kan man se for seg at Norge kan inngå et samarbeid med andre land med små avfallsmengder. Internasjonalt samarbeid blir her behandlet som en realopsjon fordi det vil avhenge av langsiktige politiske prosesser og vilje til samarbeid fra andre land.

I dette prosjektet er usikkerheten kontinuerlig; det er ikke et konkret tidspunkt i fremtiden der det forventes viktige, usikkerhetsreduserende avklaringer. Det er heller ikke slik at det er noe konkret grunnlag for å vente at det vil skje betydelige teknologiske nyvinninger på området. Derfor er det antagelig slik at realopsjoner i dette tilfellet skal tillegges begrenset vekt.

Det er likevel slik at nullalternativet vil gi flere realopsjoner enn de øvrige alternativer. Nullalternativet er et «vente og se»-alternativ, der man på senere tidspunkt kan velge å gjennomføre hvilket som helst av de andre konseptene.

Likeledes har konsepter der deponiet etableres på et sent tidspunkt en fordel når vi ser isolert på realopsjoner. Disse konseptene vil kunne nyttiggjøre seg eventuelle nye løsninger som er utviklet frem til prosessen starter opp. Et utsatt deponi gir også en fleksibilitet ved at man kan ta høyde for at det i fremtiden kan dukke opp andre avfallstyper som man trenger et dypdeponi for. Dersom dypdeponiet allerede er forseglet, kan det derimot ikke ta imot eventuelle fremtidige avfallstyper som krever dypdeponi.

Det er viktig å understreke at også konsepter der det etableres deponi tidlig vil kunne la seg tilpasse utover i analyseperioden. I den lange planleggingsfasen vil det for eksempel antagelig være mulig å utrede ulike lokaliseringer uavhengig av hvilken deponitype som velges. En godt designet prosess vil muliggjøre at beslutningene tas så sent som mulig, slik at prosessen ikke forsinkes, men døren likevel holdes åpen for å ta inn ny informasjon.

Basert på momentene vist over, oppsummeres grad av realopsjoner/fleksibilitet i de ulike alternativene i tabellen under. Selv om det er noe forskjell i fleksibilitet mellom alternativene, anses verdien av fleksibilitet å være begrenset i denne investeringsbeslutningen. Nullalternativet gir større fleksibilitet enn alle tiltaksalternativene, og alternativ IV full reprosessering gir noe mer fleksibilitet enn de andre alternativene dersom man velger å ta avfallet i retur som mellomaktivt i stedet for høyaktivt vitrifisert avfall.

Tabell 2-31 Realopsjoner og verdien av fleksibilitet

Alternativ	Realopsjoner						Rang
	Muligheter for bedret deponi-teknologi ved utsettelse		Muligheter for bedret deponi-teknologi ved ILW i stedet for HLW		Muligheter for internasjonalt deponi-samarbeid ved utsettelse		
	Betydn.	Omfang	Betydn.	Omfang	Betydn.	Omfang	
0	Stor	Stort	Middels	Intet	Stor	Stort	1
I Minimal reprosessering		Lite		Intet		Lite	3
II Reprosesser alt ustabilt		Lite		Intet		Lite	3
IV Full reprosessering		Lite		Stort		Lite	2
0		Stort		Intet		Stort	1
I Minimal reprosessering		Noe		Intet		Noe	3
II Reprosesser alt ustabilt		Noe		Intet		Noe	3
IV Full reprosessering		Noe		Stort		Noe	2

2.8. Tilleggsanalyser

Vi har beregnet kostnadene for avfallhåndtering per tonn brukt brensel som produseres for hvert alternativ. Man kan tenke seg ulike måter å beregne kostnaden på. Vi har beregnet avfallskostnaden som gjennomsnittet av totale kostnader, i tråd med hvordan dette beregnes i Sverige og Finland. Historisk

kostnad for håndtering av brukt brensel, inkludert mellomlagring frem til i dag, er ikke inkludert. Kostnadene er ikke justert for prisvekst, og inkluderer ikke skattefinansieringskostnad eller restkostnad.

Scenario	Brukt brensel, tonn	Alternativ	Totale kostnader, investering og drift, ikke diskontert. MNOK	Gjennomsnittskostnad per tonn brukt brensel, MNOK
Stengt 2020	17	0	5 919	348
	17	I	15 370	904
	17	II	15 420	907
	17	IV	15 700	924
Stengt 2100	27	0	8 840	327
	27	I	19 880	736
	27	II	20 240	750
	27	IV	21 700	804

Dersom reaktorene stanses i 2020 sitter vi totalt med 17 tonn brukt brensel og en gjennomsnittskostnad for håndteringen på 900-925 millioner kroner per tonn.

Dersom reaktorene driftes fram til 2100 vil en produksjon på dagens nivå resultere i totalt 27 tonn brukt brensel, med en snittkostnad på 735-805 millioner kroner per tonn.

Gjennomsnittskostnaden per tonn brukt brensel synker dersom reaktorene fortsetter driften, men totalkostnaden øker. Store kostnadselementer som dypdeponi er uavhengig av brenselmengde, og bidrar til den lavere gjennomsnittskostnaden. En sammenlikning mellom referansealternativene i de to scenarioene, viser at når det ikke bygges dypdeponi stiger gjennomsnittskostnaden desto mer brensel som produseres. Dette henger sammen med at håndtering av nytt brukt brensel er dyrere enn gammelt, fordi vi har inkludert kostnaden for håndtering av brensel fra øyeblikket det forlater nær-reaktor-lagrene. For tidligere produsert avfall er disse behandlingskostnadene allerede tatt.

2.9. Rangering og vurdering

I en samlet vurdering av alternativene skal alle momenter som har fremkommet i den samfunnsøkonomiske analysen holdes opp mot hverandre. De ulike momentene oppsummeres i Tabell 2-32 for hvert alternativ: prissatte effekter, ikke-prissatte effekter, fordelingsvirkninger og realopsjoner.

Nullalternativet kommer betydelig bedre ut enn alle tiltaksalternativene når vi ser på de prissatte effektene alene. Det er fordi nullalternativet ikke innebærer en sluttløsning for langlivet avfall, men kun viderefører dagens lagringssituasjon. De mest kostnadsdrivende tiltakene i tiltaksalternativene er stabilisering av ustabil avfall og etablering av dypdeponi. Disse tiltakene vil uansett måtte gjennomføres en eller annen gang dersom man skal følge internasjonale konvensjoner og IAEAs anbefalinger om deponering av brukt brensel, og nullalternativet innebærer dermed at disse kostnadene må tas tilleggsvis på et senere tidspunkt.

Det er relativt små forskjeller mellom tiltaksalternativene når vi ser på de prissatte effektene. Alternativ I med minimal repressering og alternativ II med delvis repressering kommer tilnærmet likt ut, mens alternativ IV med full repressering fremkommer som noe dyrere.

De viktigste ikke-prissatte effektene er knyttet til at risikoen for en ulykke eller at terrorister får tak i avfallet reduseres dersom brukt brensel deponeres i et forseglede dypdeponi og sikkerheten dermed ikke avhenger av menneskelig drift og overvåking som ved fortsatt lagring. Dette reduserer risikoen for utslipp med resulterende helse- eller miljøskader og styrker samfunnssikkerheten.

Det er i nåværende situasjon usikkert om dagens lagre for metallisk brensel på Kjeller er forsvarlige. IFE har startet en prosess med å undersøke dette brenselet for korrosjonsskader og teste hvorvidt skadene kan ha gitt utslipp til nærmiljøet. Selv om denne prosessen skulle vise at lagrene er forsvarlige per i dag, er de i for dårlig stand til å kunne anses som forsvarlige på lang sikt. Også null-alternativene innebærer derfor at det etableres nye lagre for dette avfallet, som vil gi en forsvarlig lagringssituasjon i en forlenget periode.

Metallisk brensel er imidlertid selvantennelig ved kontakt med vann, dermed ustabil, og det vil derfor alltid være en restrisiko inntil brenselet stabiliseres. Når brenselet i tillegg deponeres i et forseglede dypdeponi reduseres ulykkesrisikoen til et nivå tilnærmet lik null. Stabilisering og deponering av dette avfallet er lagt inn i alle tiltaksalternativene og disse vurderes derfor som betydelig bedre enn nullalternativet på de ikke-prissatte effektene.

Det er også noen forskjeller mellom tiltaksalternativene på rangeringen av de ikke-prissatte effektene. Stabilisering av aluminiumskapslet brensel ved IFE innebærer bruk av en ikke utprøvd metode og gir derfor en noe høyere risiko enn dersom dette avfallet repossesseres i et kommersielt anlegg. Alternativ I Minimal repossessering anses derfor som noe dårligere enn de andre tiltaksalternativene. Dersom alt brukt brensel repossesseres vil alt det brukte brenselet komme i retur som vitrifisert avfall. Dette avfallet er enhetlig og enklere håndterbart, som anses å redusere ulykkesrisikoen ytterligere. I tillegg er det vitrifiserte avfallet innkapslet i glass, og glasset innebærer da en ekstra barriere mot utslipp av radioaktivitet til miljøet i deponiet. Alternativ IV Full repossessering er derfor noe bedre enn alternativ II Delvis repossessering på de ikke-prissatte effektene.

Den viktigste fordelingsvirkningen knytter seg til at byrdene ved avfallshåndteringen overføres fra nåværende generasjoner til fremtidige generasjoner dersom stabilisering og etablering av dypdeponi utsettes i lang tid. Prinsippet om at forurenser skal betale, som nedfelt i den norske forurensningsloven, innebærer også at hver generasjon skal betale for håndteringen av det avfallet de har skapt. Nullalternativet bryter således med dette prinsippet og vurderes derfor som betydelig dårligere enn tiltaksalternativene når det gjelder fordelingsvirkninger.

Samtidig er det knyttet noen realopsjoner til å utsette beslutningen om løsninger for stabilisering og dypdeponi. Ny teknologi kan i fremtiden vise seg å gi billigere løsninger, for eksempel gjennom internasjonal forskning på borchullsteknologi eller teknologi for stabilisering av aluminiumskapslet oksidbrensel. Kvalitetssikrer ser imidlertid ikke noen spesifikke prosesser som tyder på særlige gjennombrudd på noen av disse områdene i nær fremtid. I denne sammenheng er det også viktig å påpeke at det ikke virker sannsynlig at det vil oppstå ny teknologi for å stabilisere det metalliske brenselet. En utsettelse av beslutningen om å stabilisere det metalliske brenselet har det derfor liten verdi og vil ha en betydelig nedside ved forlengede kostnader til lagring og medførende ulykkesrisiko.

Derimot vil det være store potensielle besparelser knyttet til å inngå internasjonalt samarbeid om dypdeponi. Kostnadene til å bygge dypdeponi er i stor grad uavhengig av mengden avfall som deponeres. Fordi Norge har såpass lite avfall fremstår det som svært fornuftig å samarbeide om dypdeponi med en eller flere andre nasjoner. Et slikt samarbeid må trolig fremforhandles på øverste politiske nivå over mange år, så avklaringer om denne muligheten vil ligge langt frem i tid. De potensielle kostnadsbesparelsene er imidlertid såpass store at denne opsjonen vurderes som verdifull. Nullalternativet kommer derfor bedre ut enn tiltaksalternativene på dette punktet.

Alternativ IV Full repossessering gir i tillegg en mulighet for å velge å få mellomaktivt avfall i retur, i stedet for høyaktivt avfall. Dette kan i fremtiden tenkes å gi muligheten til en noe enklere og dermed billigere deponiløsning. Per i dag finnes det imidlertid ingen utprøvd teknologi for en slik løsning og det må derfor legges til grunn at man må bygge samme type dypdeponi som i de andre tiltaksalternativene, selv om alt avfall fra brukt brensel er i en mellomaktiv form. Vi har uansett noe annet høyaktivt avfall (thoriumstaver), og en deponiløsning må også kunne tilfredsstille kravene til deponering av dette. Alternativ IV Full Repossessering kommer likevel noe bedre ut enn de andre tiltaksalternativene når det gjelder realopsjoner, fordi man har en mulig oppside ved en enklere deponiløsning dersom avfallet i retur fra repossessering tas hjem som mellomaktivt, i stedet for høyaktivt.

Kvalitetssikrer vurderer det slik at alternativ II Delvis repossessering kommer best ut i en samlet vurdering av de samfunnsøkonomiske effektene. Alternativet er marginalt dårligere enn alternativ I Minimal repossessering på de prissatte effektene, men usikkerheten i anslagene er såpass stor at denne lille forskjellen ikke tillegges vekt. Alternativ II vurderes imidlertid som bedre enn alternativ I på de ikke-prissatte effektene, fordi det aluminiumskapslede oksidbrenselet stabiliseres gjennom en velutprøvd teknologi i et kommersielt anlegg framfor at ny teknologi må utvikles ved IFE, med usikkerheten og risikoen det medfører.

Alternativ IV Full repossessering vurderes som noe bedre på de ikke-prissatte effektene og vil gi noe mer fleksibilitet i gjennomføringen, men disse fordelene vurderes ikke å tilsvare den estimerte kostnadsøkningen på 400-750 millioner kroner i forhold til alternativ II Delvis repossessering.

Kostnadspåslaget i alternativ IV er knyttet til reprosessering av zirkaloykapslet oksidbrensel. Kostnadene til reprosessering er basert på anslag fra leverandør og er angitt å være mer eller mindre proporsjonale med avfallsmengdene, slik at man ikke kan forvente å få kvantumsrabatt dersom man sender større mengder. Det er imidlertid knyttet stor usikkerhet til disse kostnadsanslagene og endelig pris vil avhenge av nærmere spesifisering av brenselet og forhandlinger med ulike leverandører. Dersom forhandlingene gir endrede priser kan det tenkes at alternativ IV likevel vil fremkomme som det beste alternativet. I såfall bør man vurdere å velge mellomaktivt avfall i retur, i stedet for høyaktivt avfall, som i fremtiden kan tenkes å utløse en opsjon for en enklere og billigere deponiløsning.

Tabell 2-32 Samfunnsøkonomisk analyse oppsummert

	Alternativ	NNV	Ikke prissatte	Fordelings-virkninger	Real-opsjoner	Rang
Stans 2020	0	-3 170	4	4	1	4
	I	-8 340	3	1	3	3
	II	-8 380	2	1	3	1
	IV	-8 700	1	1	3	2
Stans 2100	0	-4 580	4	4	1	4
	I	-6 880	3	1	3	3
	II	-6 890	2	1	3	1
	IV	-7 730	1	1	2	2

Kvalitetssikrers rangering og vurdering sammenlignet med KVV

I et scenario med tidlig nedstengning kommer alternativet med reprosessering av alt brukt brensel ut som det mest lønnsomme i KVV-ens analyse. I Kvalitetssikrers analyse kommer derimot alternativet hvor kun det ustabile brukte brenselet reprosesseres best ut. Dette er fordi de prissatte kostnadsanslagene er svært ulike i KVV-en og KS1, i tillegg til at innholdet i alternativene ikke er de samme.

KVV-ens alternativ 4 Reprosessering av alt brensel innebærer ikke dypdeponi og dermed ingen sluttløsning for brukt brensel. KS1 mener derfor at dette ikke er et gyldig tiltaksalternativ og har lagt til grunn etablering av dypdeponi i alle tiltaksalternativene. Dette er grunnen til at KVV-ens alternativ med full reprosessering kommer bedre ut enn det tilsvarende alternativet i KS1, relativt til de andre alternativene.

I tillegg er kostnadsanslagene for de mest kostnadsdrivende elementene svært ulike i KVV og KS1. KS1 har estimert vesentlig høyere kostnader både til reprosessering og dypdeponi sammenlignet med KVV. KVV-en har basert sine anslag på reprosesseringskostnader på estimer fra reprosesseringsanlegget i Russland fra 2009, mens KS1 har basert sine anslag på estimer fra reprosesseringsanlegget i Frankrike fra 2016. De franske tjenestene er trolig dyrere enn de russiske. Begge anslag er imidlertid svært usikre.

De anslåtte kostnadene til dypdeponi er basert på en svensk-finsk teknologisk løsning både i KVV og KS1. KVV-en har basert sine anslag på en detaljert beregning av ulike momenter i planleggings- og byggefasen, mens KS1 har basert sine anslag på erfaringstall fra Finland. I nukleær sektor er det regelmessige kostnadspåslag knyttet til å bevise at løsningen er forsvarlig og å informere myndigheter og befolkning om dette, og KS1 vurderer det derfor slik at internasjonale erfaringstall fra samme etableringsprosess er svært relevant for å anslå totalkostnaden.

Det er likevel knyttet stor usikkerhet til kostnadsanslagene for reprosessering og dypdeponi både i KVV og KS1. Alternativenes prissatte effekter og innbyrdes rangering i KVV og KS1 er sammenstilt i Tabell 2-33.

I et scenario med sen nedstengning rangerer KVV-en nullalternativet som det mest lønnsomme alternativet, men tar likevel ingen tydelig stilling til hvilket alternativ man bør velge i et slikt scenario fordi det er stor

usikkerhet knyttet til mulighetene for repressering i et så langsiktige perspektiv. KS1 vurderer det derimot slik at tidspunkt for nedstengning ikke er utslagsgivende for rangeringen av alternativene. Nullalternativet vurderes uansett som betydelig dårligere enn alle tiltaksalternativene, og med de kostnadsanslagene man har tilgjengelig på represseringskostnadene i dag fremkommer alternativ II med repressering av kun det ustabile brenselet som det beste uavhengig av tidspunkt for nedstengning av reaktorene.

Tabell 2-33 Sammenligning av alternativenes rangering i KVV og KS1

	KVV Alternativ	KVV Prissatte effekter	KVV Rang	KS1 Alternativ	KS1 Prissatte effekter	KS1 Rang
Tidlig stans	0	-1 800	3	0	-3 170	4
	1 Samlager i Norge	-1 360	2	I Minimal repressering	-8 340	3
	2 Deponi i Norge	-1 860	5	II Represser alt ustabilt	-8 380	1
	4 Repressering alt brensel	-750	1	IV Full repressering	-8 700	2
Sen stans	0	-1 530	1	0	-4 580	4
	1 Samlager i Norge	-2 200	3	I Minimal repressering	-6 880	3
	2 Deponi i Norge	-2 600	5	II Represser alt ustabilt	-6 890	1
	4 Repressering alt brensel	-1 730	2	IV Full repressering	-7 730	2



ATKINS

oslo**economics**

KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall

Vedlegg 4 – Betrachtninger om bruk av borehull som deponi for radioaktivt avfall

Kvalitetssikring (KS1) utarbeidet på oppdrag fra
Finansdepartementet og Nærings- og
Fiskeridepartementet

15. april 2016



ATKINS

Atkins er et av verdens mest respekterte konsultentselskaper innen prosjektledelse og engineering av komplekse prosjekter. Vi verdsetter langsiktig samarbeid med våre kunder og partnere, og gjør vårt ytterste for å bidra til bærekraftig utvikling og vekst til beste for våre kunder og samfunnet – lokalt og globalt.

Atkins Norge er et av Norges ledende konsultentselskaper innen rådgivning, beslutningsstøtte, ledelse og styring av prosjekter. Vår kjernekompetanse er prosjektarbeid, og vi har siden oppstarten av Terramar i 1987 hatt sentrale roller i planlegging og gjennomføring av noen av de mest krevende prosjektene i Norge. Blant våre kunder finnes en rekke offentlige etater og de største aktørene i norsk næringsliv. Med virkning fra 2014 sluttet Terramar seg til Atkins – en av verdens største konsulent- og rådgivningsvirksomheter med ca. 18000 ansatte, hvorav ca. 700 i Skandinavia. Selskapet har sitt hovedkontor i Storbritannia og er notert på London Stock Exchange.

osloeconomics

Oslo Economics utreder økonomiske problemstillinger og gir råd til bedrifter, myndigheter og organisasjoner. Vår innsikt og analyse er basert på bransjeerfaring, sterk fagkompetanse og et omfattende nettverk av samarbeidspartnere. Vi er blant Norges ledende uavhengige samfunnsøkonomiske analysemiljøer og våre medarbeidere har erfaring fra offentlig forvaltning, forsknings- og analysemiljøer og næringslivet. Vi tilbyr analyse og rådgivning som del av regulatoriske prosesser, utredning av konseptvalg, kvalitetssikring, nytte-/kostnadsanalyser, sektoranalyser og evalueringer.

Kvalitetssikring av statlige investeringsprosjekter

Det er etablert en ordning med ekstern kvalitetssikring av statlige investeringsprosjekter med en antatt kostnad over 750 mill. kr. Ordningen omfatter kvalitetssikring av konseptvalg (KS 1) og kvalitetssikring av kostnadsoverslag og styringsunderlag (KS 2). Atkins, Oslo Economics og Promis har sammen en rammeavtale med Finansdepartementet innen kvalitetssikring.

Oppdragsgiver	Finansdepartementet og Nærings- og fiskeridepartementet
Kontaktpersoner	Peder Berg, Finansdepartementet og Lidia Logacheva/Karl G. Johannesen, Nærings- og fiskeridepartementet
Rapportnavn	KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall. Kvalitetssikring (KS1) utarbeidet på oppdrag fra Finansdepartementet og Nærings- og Fiskeridepartementet
Dato	15.april 2016
Utarbeidet av	Atkins og Oslo Economics
Kontaktinformasjon	Oppdragsleder Erik Magnus Sæther, Oslo Economics, ems@osloeconomics.no , +47 940 58 192

KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall

Vedlegg 4 – Betrachtninger om bruk av borehull som deponi for radioaktivt avfall

Innholdsfortegnelse

1.	Bakgrunn	5
2.	Hensikt	5
3.	Referanser	6
4.	Generelle krav til dypdeponi	6
5.	Om KBS-3 konseptet	7
6.	Om borehullskonseptet	8
7.	Drøfting	9
7.1.	Konseptenes modenhet	10
7.2.	Norges mengde avfall	10
7.3.	Norsk kompetanse	10
7.4.	Gjennomføringskostnader	11
7.5.	Pakking av avfallet tilpasset et borehull	12
8.	Konklusjon	13

1. Bakgrunn

Atkins og Oslo Economics gjennomfører ekstern kvalitetssikring av KVV Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall. Tiltaket innebærer blant annet å finne en permanent løsning for oppbevaring av det høyaktive langlivede avfallet. Dette avfallet består i hovedsak av ulike typer brukt brensel.

En permanent løsning for dette avfallet vil innebære et deponi. Et deponi er en permanent løsning som ikke krever kontroll fra myndighetenes side etter at avfallet er plassert i deponiet og deponiet er forseglet. Deponi skiller seg dermed fra et lager som vil kreve overvåking, vakthold og sikring så lenge avfallet er å karakterisere som farlig. For langlivet radioaktivt avfall betyr dette i praksis for alltid.

Det er i dag ingen som har realisert en løsning som tilfredsstiller kravet til et deponi for denne type avfall. Sverige og Finland synes å være de nasjonene som har kommet lengst i arbeidet med å realisere en slik kapasitet. Sverige har utviklet et konsept (KBS-3) som forventes å bli lisensiert av svenske myndigheter om ikke lenge. Finland har fått lisensiert et dypdeponi basert på den svenske KBS-3 løsningen og er i ferd med å starte arbeidet med å bygge et deponi i tråd med dette konseptet. I korte trekk går KBS-3-løsningen ut på å deponere avfallet ca 500 meter ned i bakken for deretter, når deponiet er fylt opp, forsegle anleggene. Mer om dette senere i dette dokumentet.

Tilsvarende aktiviteter som i Sverige og Finland er i planleggingsfasen også i andre land, men disse vurderes ikke å ha kommet så langt som disse nasjonene.

Et konsept som skiller seg fra KBS-3-løsningen er bruk av dype borehull for deponering av det langlivede høyaktive avfallet. USA synes å være den nasjonen som har drevet dette konseptet lengst. Konseptet består i å bore et hull på opp mot 50 cm i diameter ned til mellom 3-5 km, for deretter å deponere avfallet i hullet og forsegle det.

Som en del av kvalitetssikringen av KVV Oppbevaring av radioaktivt avfall har vi gjort enkelte undersøkelser knyttet til borehullskonseptet.

2. Hensikt

Det har innenfor rammen av KS1-oppgaget ikke vært hverken hensikten eller tid til å gjøre en omfattende studie av borehullskonseptet. Det understrekes at det ikke har vært KS-gruppens ambisjon om å gi en utfyllende presentasjon her. Til det er en slik oppgave alt for omfattende. Intensjonen er imidlertid å gi leseren innsikt i de overordnede prinsippene og hvordan et slikt konsept skiller seg fra det etablerte konseptet KBS-3, som ligger til grunn for de kostnadsberegningene for et dypdeponi som er gjort av KS1-gruppen.

3. Referanser

Innholdet i dette dokumentet baserer seg på gjennomgang av følgende rapporter:

Tabell 1 – Referanser

Ref #	Dokument/rapport	
1	Bertil Grundtfelt, Jämförelse mellan KBS-3-metoden och deponering i djupa borrhål för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle, Svensk Kärnbränslehantering (SKB) AB	September 2010
2	Nuclear Decommissioning Authority (NDA), Geological Disposal – Overview of international siting processes	September 2013
3	Bertil Grundtfelt, Radiological consequences of accidents during disposal of spent nuclear fuel in a deep borehole	Juli 2013
4	Karl-Inge Åhäll, Deponeringsdjupets betydelse vid slutförvaring av högaktivt kärnavfall i berggrunden – en karakterisering av grunda och djupa slutförvar, Rapport till Kärnavfallsrådet	Januar 2011
5	Pat Brady, Bill Arnold, Susan Altman, Palmer Vaughn; Deep Borehole Disposal of Nuclear Waste: Final Report, Sandia National Laboratories	September 2012

I tillegg til dokumentstudier er det gjennomført et møte den 26. januar 2016 med Dr.ing. Halvor Kjørholt (Manager Drilling and well solution, Statoil) og professor emeritus i bergmekanikk Arne Myrvang. På møtet ble problemstillingen presentert av KS1-gruppen og det ble diskutert hvilke begrensninger disse ekspertene så i et borehullskonsept ut fra et boreteknisk perspektiv.

4. Generelle krav til dypdeponi

Behovet for et dypdeponi tar utgangspunkt i at det er behov for en permanent oppbevaring av langlivet høyaktivt radioaktivt avfall. I de fleste tilfeller betyr høyaktivt langlivet avfall det brukte brenselet fra reaktorene. Det er imidlertid også annet avfall som kommer i denne kategorien og som vil ha behov for et dypdeponi.

I betydningen av deponi mener vi at oppbevaringsstedet, når det forsegles, skal kunne fritas fra overvåking. Løsningen må derfor være av en slik art at den innenfor den tiden avfallet er farlig skjærmer miljøet. For radioaktivt avfall av denne type så innebærer det for alle praktiske formål at miljøet skal skjermes i et evighetsperspektiv.

Dette betyr videre at det radioaktive avfallet må kunne oppbevares slik at stråling og annen forurensning ikke når omgivelsene og på denne måten skader miljøet. Det betyr også at det radioaktive avfallet ikke skal kunne hentes av personer med onde hensikter for dermed å kunne utgjøre en trussel.

Kravene til bevisførsel og sannsynliggjøring av at kravene nevnt over kan tilfredsstilles er formidable. Å få godkjent en løsning fra myndighetene er det man gjerne kaller lisensiering av et konsept. Kostnadene knyttet til lisensiering vil være mange ganger større enn selve realiseringen/byggingen av dypdeponiet. Dette er viktig å forstå for å fatte hvorfor kostnadene for et dypdeponi er formidable. Det

er også viktig å påpeke at lisensieringen av et deponikonsept i liten grad er avhengig av omfanget av det avfallet som skal deponeres.

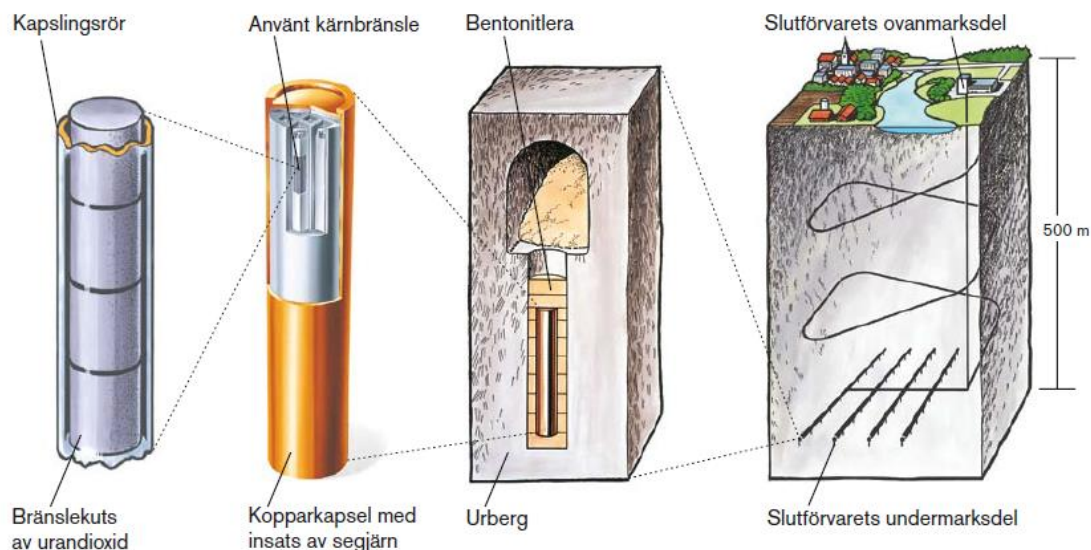
5. Om KBS-3 konseptet

KBS-3-konseptet er utviklet i Sverige og danner grunnlag for de dypdeponiene som skal etableres i Sverige og i Finland. I Sverige er konseptet under lisensiering, mens dette allerede er på plass i Finland hvor selve utbyggingen er startet. Finland og Sverige er så vidt vi er kjent med de eneste landene i verden som har kommet så langt i sine planer for realisering av permanente løsninger for oppbevaring av sitt høyaktive avfall.

KBS-3-konseptet baserer seg på avfallet¹ kapsles inn i et kapslingsrør med en tidsbestandig kopperkapsel rundt. Kapslene deponeres i deretter en og en i et deponeringshull som boret ned i gulvet i tunneler som ligger på ca 500 meters dyp. I deponeringshullet omgis kapslene av bentonitt som evner å hindre gjennomtrengning av fuktighet og som beskytter kapslene mot bevegelser i berggrunnen.

KBS-3-konseptet er som nevnt utviklet for Sverige og legger til grunn at det eksisterer en kjernekraftindustri som over lang tid vil produsere mengder av brukt brensel. Anlegget består av en overflatedel med et driftsområde med ulike servicefunksjoner, en deponidel ca 500 m under bakken og ulike tekniske systemer. Fra overflaten og ned til selve deponitunellene vil det være en adkomsttunnel og ulike sjakter for transport av masser og heiser. I tillegg vil det være ulike former for ventilasjonssjakter.

Beskrivelsen over samt Figur 1 under er hentet fra referanse 1 (se Tabell 1).



Figur 1 – Prinsipper for deponering av brukt brensel i KBS-3 metoden (fra referanse 1)

¹ For Sverige og Finland innebærer dette brukt brensel. For Norge vil det være behov også for å deponere annet høyaktivt langlivet radioaktivt avfall.

Konseptet innebærer at tunnelsystemene nede i grunnen bygges for deretter å fylles med brukt brensel og gradvis forsegles til hele deponiet er fullt. Deretter forsegles også adkomsttunellen og fasiliteter oppe på bakken rives, og området bringes tilbake til opprinnelig stand.

For Sverige og Finland så vil fasiliteten måtte ta imot nytt brukt brensel over flere år så lenge det er reaktordrift. Mengden brukt brensel disse nasjonene har og vil få er betydelige, i forhold til Norge, og anleggene i Sverige og Finland vil legge beslag på betydelige arealer. Eksempelvis anslår man i Sverige at overflateanlegget vil legge beslag på 0,2-0,3 km² samt at deponidelen 500 m under bakken vil legge beslag på 3-4 km² (referanse 1). Utsprengt massevolum er anslått til ca 2 millioner m³. Sveriges deponiløsning vil ha kapasitet til å lagre 12 000 tonn brukt brensel.

Forutsatt at Norge beslutter en nedstengning av sine reaktorer i nær framtid vil Norge ha ca 17 tonn avfall som trenger deponering. Dette er før en eventuell reprosessering. Etter en slik prosess forventes det at volumet som skal deponeres vil reduseres betydelig. Det er grunn til å anta at for norske forhold vil arealbehovet være betydelig redusert.

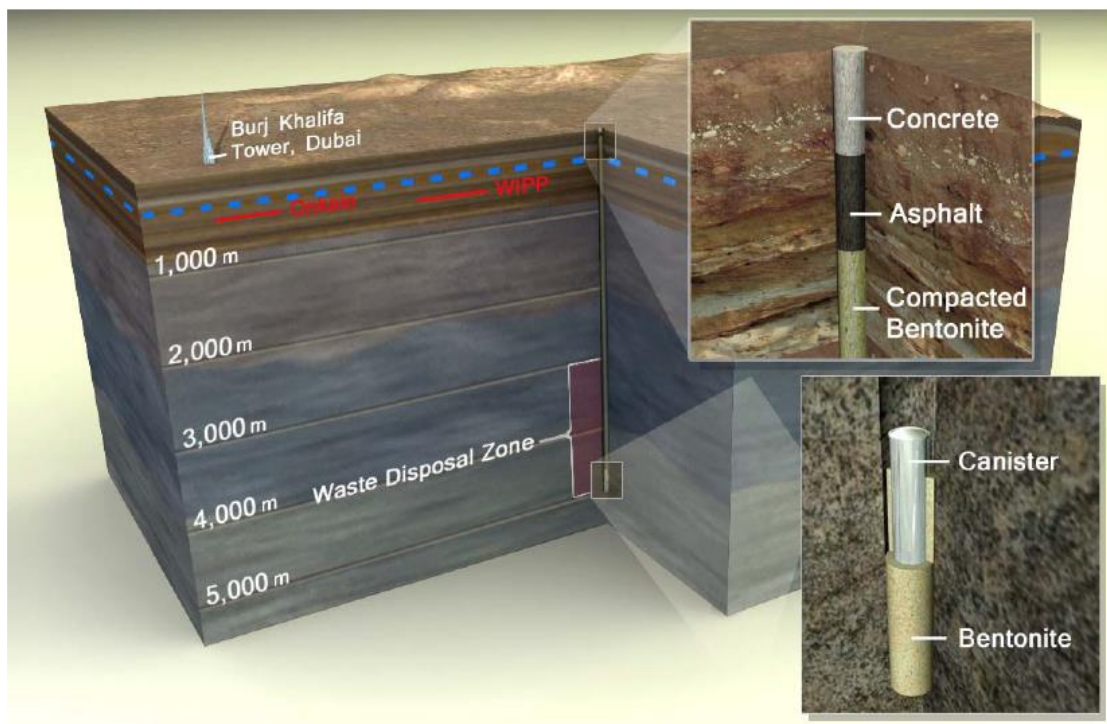
6. Om borehullskonseptet

I lang tid har det vært arbeidet med utvikling av et konsept for deponering av radioaktivt avfall basert på bruk av borehullsteknologi.² Konseptet innebærer at det bores et antall hull i grunnen, ned ca 5 km, hvor det radioaktive avfallet deponeres i sonen mellom 3 og 5 km.

Borehullet bores med en minkende diameter, i starten opp mot 1 m ned til ca 500 m, deretter 0,7 m ned til ca 1500 m, 0,56 m ned til ca 3000 m og 0,43 cm (17 inch) ned til ca 5000 m. Dette betyr at diameteren på hullet der det radioaktive avfallet lagres er i underkant av 0,5 m. Etter deponering av avfallet forsegles hullet lagvis av forskjellige typer materialer. Figur 2 viser prinsipielt hvordan konseptet er tenkt fra Sandia National Laboratories (USA).³

² Tidlige studier av dette i USA stammer fra 1957 (US National Academy Sciences)

³ Referanse 5



Figur 2 – Borehullskonsept (Sandia National Laboratories, referanse 5)

Av geologiske forhold så er det i hovedsak to alternative dyp som er aktuelle for deponering av radioaktivt avfall. Dette er ned til ca 500 m, som i KBS-3-konseptet, og minst ned til 2-3 km under overflaten. Sonen i mellom anses å være mindre egnet da det i dette området kan forekomme større endringer i det geokjemiske miljøet. Slike endringer øker sårbarheten for det avfallet som ville blitt lagret på et slikt dyp (1-1,5 km).⁴

Dersom et borehullskonsept skulle implementeres i Sverige som erstatning for KBS-3 vil det være behov for ca 60 borehull⁵. Disse anslås å ha en minimum avstand mellom hverandre på 500 m og arealet som vil være nødvendig vil omfatte ca 13 km².

7. Drøfting

Vår drøfting av borehull som deponi vs. et KBS-3 konsept tar følgende forhold i betraktning:

- Konseptenes modenhet
- Norges mengde avfall vs. de landene som har vurdert borehullskonseptet så langt
- Norsk kompetanse
- Gjennomføringskostnader
- Pakking av avfallet tilpasset et borehull

⁴ Referanse 4

⁵ Svenske studier på dette legger til grunn en diameter på borehullet i deponeringssonen på 0,8 m.

Drøftingen adresserer med andre ord ikke sikkerhetsrelaterte aspekter da disse uansett forutsettes å måtte være tilfredsstilt dersom ett av de to konseptene kommer til anvendelse i Norge.

7.1. Konseptenes modenhet

Som nevnt tidligere er KBS-3 konseptet i dag det konseptet for dypdeponi som har kommet lengst i verden. Finland starter bygging av sitt dypdeponi basert på dette konseptet og Sverige har en prosess gående for å få lisensiert konseptet hos seg. Sverige har brukt om lag 35 milliarder NOK på planlegging og utvikling av sin dypdeponiløsning så langt. Beløpet inkluderer ikke bare konseptutviklingen, men også prosessen med lokalisering av deponiet. Til tross for dette illustrerer beløpet at konseptutvikling og herunder lisensieringen av et konsept har en betydelig kostnad.

Finland har trolig nytt godt av at Sverige i stor grad har tatt kostnadene med å utvikle konseptet da deres planleggingskostnader så langt har beløpt seg til 1,5 mrd NOK. Tallene for Sverige og Finland er trolig ikke helt sammenlignbare for en eventuell norsk løsning, men skulle allikevel illustrere at det er hensiktsmessig å benytte et allerede etablert konsept.

Borehullskonseptet er på langt nær så modent som KBS-3. Det betyr ikke at konseptet er noe dårligere, men illustrerer mer det faktum at Sverige virker å ha besluttet sitt konsept relativt tidlig og dermed benyttet sine ressurser på utvikling av dette konseptet i større grad enn å vurdere andre konsepter, eksempelvis borehullskonseptet. Referanse 3, som sammenligner KBS-3 med et borehullskonsept, illustrerer at KBS-3-konseptet allerede i 2010 var betydelig mer modnet, sett fra et svensk perspektiv, enn et borehullskonsept.

Utvikling av konsepter for dypdeponi, herunder lisensiering av en slik løsning vil kreve betydelige økonomiske midler. Det vil derfor i utgangspunktet være en fordel dersom Norge i størst mulig grad baserer sin løsning på et allerede modnet konsept. Dette skulle innebære at Norge bør velge KBS-3.

I USA brukes det betydelig økonomiske midler på utvikling av et borehullskonsept. Dersom et borehullsdeponi skulle undersøkes nærmere for bruk i Norge synes det mest relevant at Norge knytter seg til miljøer som allerede arbeider med dette konseptet og således kan høste relevant erfaring fra denne type forskningsprogrammer. Det er neppe hensiktsmessig at Norge alene setter i gang et slikt arbeid.

7.2. Norges mengde avfall

Norge har svært lite avfall av den kategori som må dypdeponeres sammenlignet med Sverige og Finland; 17 tonn vs. 12 000 tonn (Sverige)/ 9 000 tonn (Finland). I de svenske sammenligningene av de to konseptene (referanse 1) er ett av argumentene mot borehullsteknologi at arealbehovet er svært stort for et borehullskonsept (60 hull, 13 km²). For Norges vedkommende vil et slikt argument kunne benyttes tvert om da det kan legges til grunn at vi behøver kun ett hull og at behovet for areal dermed blir svært lite. For et KBS-3-konsept for Norge så vil det uansett måtte benyttes et betydelig areal for å gjennomføre anleggsarbeidene for å bygge adkomsttunnelen ned til ca 500 m. Dette vil i seg selv bli en svært stor operasjon for å kunne deponere en svært liten mengde avfall.

Det må legges til grunn at dersom vi ser bort fra konseptutviklingen og lisensieringen, vil selve realiseringen av ett borehull for å lagre Norges avfall bli betydelig billigere enn bygging av en tunnel ned til 500 m.

Norges relativt små mengder med radioaktivt avfall skulle tilsi at et borehullskonsept har større fordeler for oss enn for nasjoner med mer avfall. Dette vil i første rekke ha konsekvenser for arealbehovet samt for gjennomføringskostanden.

7.3. Norsk kompetanse

Norsk kompetanse knyttet til disse konseptene har to aspekter ved seg. Det ene er relatert til borehullsteknologi, det andre relatert til kompetanse om oppbevaring av atomavfall.

Det er hevet over enhver tvil at Norge sitter på noe av verdens beste kompetanse på borehullsteknologi. Dette er kompetanse som er bygget opp gjennom mange år, ikke bare gjennom olje og gass-virksomheten, men også basert på de store vannkraftutbyggingene som er gjennomført i landet. Landet er svært godt kartlagt geologisk og antas å være godt egnet for gjennomføring av et borehullskonsept for deponering av vårt radioaktive avfall. Det er grunn til å anta at Norge sitter på betydelig mer kompetanse innenfor borehullsteknologi enn eksempelvis Sverige og at ekspertise i Norge ville kunne ha et annet syn på de eventuelle teknologiske utfordringene knyttet til et borehullskonsept enn hva tilfellet er i Sverige. KS1-gruppen er kjent med at Norske geologi-eksperter har vært noe involvert i utviklingen av KBS-3-konseptet, men det synes ikke som at norsk kompetanse i borehullsteknologi er benyttet i svenskenes vurdering av borehullskonseptet vs. KBS-3.

Norges kompetanse om lagring av radioaktivt avfall må imidlertid anes å være mer begrenset. Vi er en liten nasjon uten kommersiell kjernekraftindustri. Vår forståelse og innsikt i hva det vil kreves for å få lisensiert en løsning for deponering av radioaktivt avfall må betraktes som begrenset og vil måtte skaffes fra miljøer som kjenner dette bedre.

Sett fra et norsk perspektiv har vi altså god kunnskap og erfaring knyttet til borehullsteknologi, imidlertid har vi begrenset kompetanse om hva det vil si å få lisensiert en deponiløsning for radioaktivt avfall.

7.4. Gjennomføringskostnader

Med gjennomføringskostnader mener vi kostnader knyttet til byggingen/boringen av deponiet. Det inkluderer med andre ord ikke kostnader til planlegging, konseptutvikling og lisensiering. Våre betraktninger her er basert på de kostnadene vi har fått fra Sverige og Finland samt et anslag gitt av Dr.ing. Halvor Kjørholt (Statoil) basert på opplysninger gitt av KS1-gruppen. Som før nevnt er det slik at kostnadene til en konseptutvikling og lisensiering er betydelig i forhold til selve realiseringen av et deponi.

I Sverige anslår man byggingen av anlegget i Forsmark, drift av dette i 100 år samt forsegling til å koste 50 mrd. NOK. I Finland anslår man byggingen av sitt anlegg til ca. 8 mrd. NOK. Omfanget av tunneler i de to anleggene er noe forskjellig. Mens Sverige dimensjonerer sitt til 12 000 tonn avfall dimensjonerer Finland sitt til 9 000 tonn. Sammenlignet med vårt behov som er mindre enn 20 tonn⁶ vil altså omfanget av deponitunneler på 500 m dyp være så å si neglisjerbart. Imidlertid må vi, som disse landene, dersom vi skal basere oss på KBS-3 konseptet bygge en adkomsttunnel mer eller mindre på lik linje. Vi har i våre kostnadsbetraktninger knyttet til et dypdeponi basert oss på de finske kostnadstallene og nedskalert dette til en gjennomføringskostnad på om lag 3,3 mrd. NOK.

Vi har bedt Dr.ing. Halvor Kjørholt (Statoil) gjøre enkelte betraktninger knyttet til boring av ett hull. Hans betraktninger bygger på følgende:

- Innspill fra Ullrigg⁷ estimerer en kostnad for boring på land i Norge til 20 MNOK for 3 km brønn og 40 MNOK for 5 km
- Erfaring fra produksjonsbrønner i oljeskifer i USA innebærer en kostnad for 5 km til ca 15 MNOK
- En enkel vertikal brønn på norsk sokkel boret fra en fast installasjon er estimert til å ligge i området 70-100 MNOK for en 3-5 km dyp brønn

I disse tilfellene er diameter på borehullet 8,5 tommer. Både olje-skifer-brønner og brønner på norsk sokkel bores i sedimentære bergarter mens Ullrigg-brønner gjelder bergarter som er mer representative for landboring i Norge. Det er grunn til å legge på et påslag på 50 % for å øke borehulldiameteren til 17,5 tommer (tilnærmet 44 cm).

⁶ Ved en repossessering vil vårt avfall reduseres betydelig og behovet for lagringsplass er sterkt redusert.

⁷ Ullrigg Drilling and Well Centre er fullskala offshore rigg lokalisert på Ullandhaug i Stavanger (<http://www.iris.no/research/ullrigg>)

Disse betraktningene konkluderer med en borekostnad på 30-60 MNOK for en vertikal brønn i intervallet 3-5 km. Det vil være en god del usikkerhet knyttet til disse tallene, blant annet relatert til hvor mye problemer man eventuelt opplever under boringen. Det er her tatt høyde for moderate problemer. Det er naturlig å anta at det tilkommer en rekke kostnader ut over dette også som del av gjennomføringen. Det kan tenkes at det vil være behov for å øke diameteren ytterligere, noe som vil vanskeliggjøre boringen ytterligere. Kostnadene inkluderer heller ikke plassering av avfallet.

Selv om det er grunn til å anta at dette anslaget ikke inkluderer alle relevante kostnader til en gjennomføring så er det grunn til å merke seg at beløpet er betydelig lavere enn en løsning i tråd med KBS-3 konseptet.

7.5. Pakking av avfallet tilpasset et borehull

I utgangspunktet er ikke en deponiløsning det som haster mest for håndteringen av radioaktivt avfall. Imidlertid anbefales det at det snarest mulig iverksettes tiltak for stabilisering av det ustabile brukte brenselet. Det er grunn til å anta at en slik håndtering vil innebære at brenselet etter stabilisering vil måtte pakkes i en på forhånd bestemt måte og form. Dersom en borehullsløsning velges så ville det ha vært hensiktsmessig at man allerede før man stabiliserte brenselet visste hva kravene til volum og form ville være dersom avfallet skulle plasseres i et borehull. Et borehullskonsept for Norge er neppe modnet tidsnok til at dette vil være klart før det brukte brenselet må stabiliseres. Dette vil kunne bety at dersom et borehullskonsept er ønskelig å benytte må det tas høyde for ompakking av avfallet som skal deponeres. Dette kan ha en betydelig kostnad for et borehullskonsept.

8. Konklusjon

Det er mange uavklarte forhold knyttet til anvendelsen av en deponisløsning basert på et borehullskonsept i Norge. For Norge er de viktigste argumentene mot en anvendelse av en slik løsning at konseptet er umodent og vil kreve en betydelig innsats og ressurser for å kunne realiseres og at Norge har begrenset kompetanse om deponering av radioaktivt avfall i sin alminnelighet.

Imidlertid er det også enkelte fordeler knyttet til et slikt konsept. Disse er i hovedsak at:

- Et borehullskonsept trolig vil ha betydelig lavere gjennomføringskostnader enn en KBS-3-løsning
- Norge har spesielt gode geologiske forutsetninger for å kunne etablere en borehullsløsning
- Norge har spesielt god kompetanse om borehullsteknologi
- Norges begrensede mengder med avfall som skal deponeres innebærer at det vil være nok med ett hull. Svenskenes påpekte ulemper om at en borehullsløsning vil kreve et større areal enn KBS-3 vil for Norge være motsatt.

Basert på disse kan det synes hensiktsmessig å undersøke borehullskonseptet ytterligere ved at Norge velger å bidra i forskningsprogrammer som arbeider med dette konseptet. Det anbefales at en videre strategi i forhold til dette utredes nærmere i forprosjektfasen.

