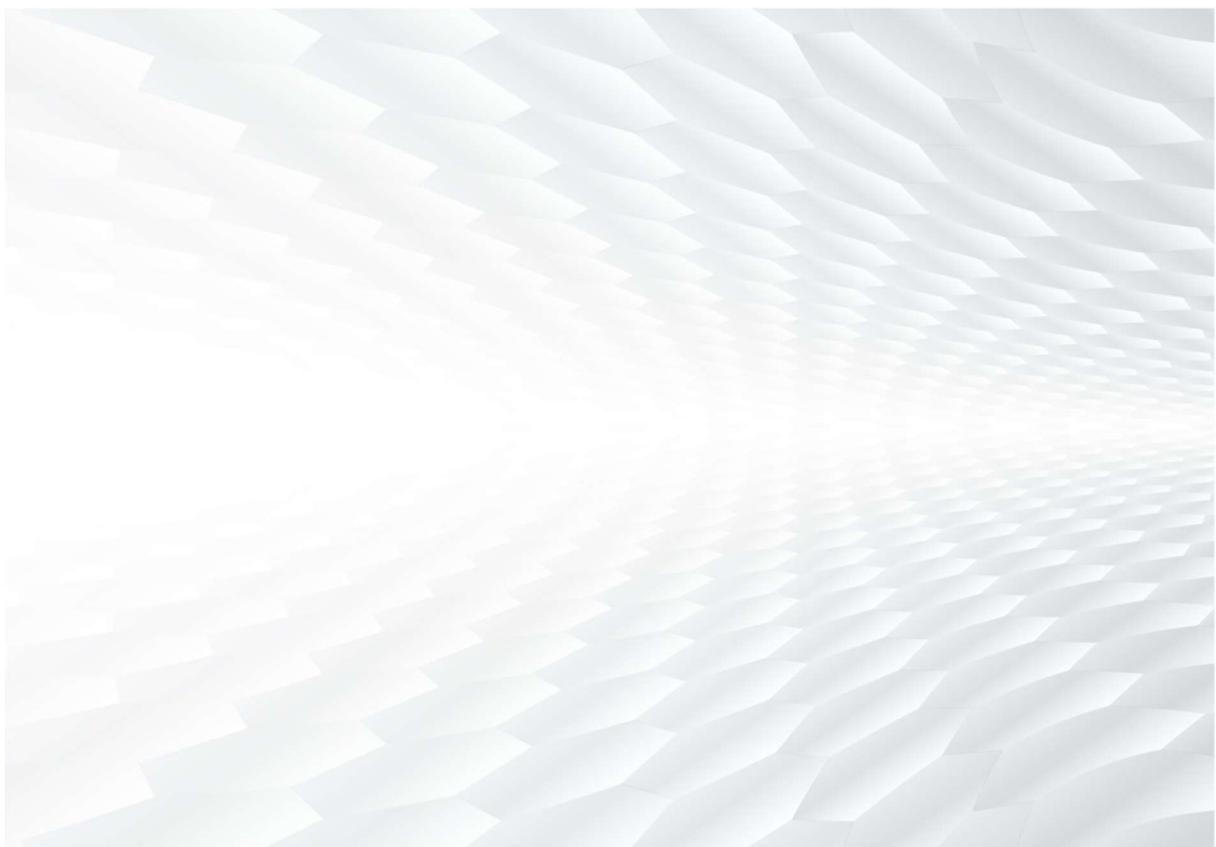


Begrenset konseptvalgutredning om behandling av norsk brukt reaktorbrensel



Norsk nukleær dekommisjonering

Sammendrag

Oppryddingen etter IFEs nukleære virksomhet omfatter å finne en langsiktig løsning for 16.5 tonn brukt brensel fra forskningsreaktorene. Av dette er 11.5 tonn ustabil, i form av at enten brenselet (10 tonn metallisk uran) eller kapslingen (1.5 tonn uranoksid innkapslet i aluminium) kan reagere med vann. Brukt brensel er høyradioaktivt avfall, hvilket betyr at det inneholder høye konsentrasjoner av radioaktivitet med lang halveringstid.

Flere tidligere utredninger har konkludert med at det ustabile brenselet må stabiliseres kjemisk før det kan deponeres. Blant annet anbefalte en konseptvalgutredning (KVU) i 2015 og en tilhørende kvalitetssikringsrapport (KS1) året etter at brenselet ble sendt til repressering, som den gang var den eneste måten å stabilisere brenselet på. To ting har endret seg siden da: En rapport fra det britiske selskapet Quintessa har vist at det kan være mulig å deponere ustabil brukt brensel, uten at det medfører uakseptable utslipp av radioaktivitet på lang sikt, og det svenske selskapet Studsvik har utviklet oksidering som et alternativ til repressering. På grunn av disse endringene, har vi i denne utredningen gjort en ny vurdering av behovet for å behandle brukt brensel, og hvilken behandlingsmetode som eventuelt anbefales.

Til tross for Quintessas resultater, konkluderer vi med at kjemisk stabilisering bør gjennomføres. Det er først og fremst på grunn av sikkerhetshensyn. Metallisk uran er brann- og eksplosjonsfarlig, særlig dersom det har korrodert. Det er alltid en risiko for at metallisk uran kan korrodere i et midlertidig lager eller et deponi. Når metallisk uran korroderer, kan det dannes uranhydrid, som er enda mer brann- og eksplosjonsfarlig. Derfor vil et midlertidig lager eller et permanent deponi alltid være tryggere dersom det inneholder kjemisk stabilt avfall, enn om det inneholder metallisk uran.

Dersom man likevel skulle velge å deponere ustabil brukt brensel, så er det tvilsomt om det er i tråd med retningslinjer fra Det internasjonale atomenergibyrået IAEA. I retningslinjene *Specific Safety Requirements No. SSR-5 Disposal of Radioactive Waste*, står det at avfallet og innpakningen skal kunne hindre at radioaktivitet frigjøres til omgivelsene. Dersom man legger til grunn en konservativ tolkning om at både avfallet og innpakningen hver for seg skal hindre utslipp, så er det ikke lov å deponere metallisk uran. En liberal tolkning av regelverket kan derimot være at så lenge innpakningen er solid nok og tilpasset avfallet, så bidrar avfallet og innpakningen til sammen til å hindre utslipp. Den konservative tolkningen stemmer imidlertid best overens med et annet prinsipp for deponering av radioaktivt avfall, nemlig at det skal finnes flere uavhengige barrierer mot utslipp.

Dersom man likevel velger den liberale tolkningen, risikerer man at fremtidige beslutningstakere eller tilsynsmyndigheter vil tenke motsatt. Konsekvensene av et slik skifte avhenger av når det skjer. I verste fall må man grave ut igjen kjemisk ustabil brensel som har blitt deponert. I beste fall må man gjenta de vurderingene som gjøres i denne utredningen, men da kan det hende at verken repressering eller oksidering lenger tilbys på markedet.

Dersom prosessen for å etablere et deponi av eller annen grunn mislykkes, vil midlertidig lagring være eneste mulighet. Dersom brenselet da ikke har blitt stabilisert, vil det innebære en videreføring av dagens risikoer på ubestemt tid. Har man derimot stabilisert brenselet, så har man i hvert fall eliminert brann- og eksplosjonsfaren knyttet til brenselets kjemiske egenskaper.

Vi anbefaler altså at brenselet stabiliseres kjemisk. Det kan gjøres enten ved å repressere det hos det franske selskapet Orano, eller ved å oksidere metallisk uran hos det svenske selskapet Studsvik. Verken repressering eller oksidering kan brukes til alt brenselet, men det kan utformes helhetlige løsninger for alt brenselet, basert på repressering eller oksidering som hovedkonsept. Omtrent 16 tonn av brenselet kan represseres. Det gjenværende brenselet (ca. 0.5 tonn) er kjemisk stabilt og kan derfor forberedes for deponering ved å pakke det i beholdere av rustfritt stål som deretter vakuumsørkes og fylles med helium for å hindre korrosjon. Orano er i ferd med å utvikle en alternativ behandlingsmetode som går ut på at brukt brensel smeltes sammen med glass i samme type beholder som returavfall fra repressering. Metoden kan kanskje brukes som et alternativ på brensel som ikke kan represseres. Studsvik kan oksidere metallisk uran (10 tonn), skifte ut aluminiumskapsling med et mer stabilt materiale (1.5 tonn) og pakke inn de gjenværende 5 tonnene (bestående av kjemisk stabilt materiale) i beholdere av rustfritt stål, som deretter vakuumsørkes og fylles med helium.

Teknologisk modenhet er den viktigste forskjellen mellom Orano og Studsvik. Orano represserer omtrent 1700 tonn hvert år, og har drevet med repressering i flere tiår. Studsvik har kun testet oksidering i laboratorieskala. Teknologien må oppskaleres for å kunne behandle det norske brenselet. Det er en risiko for at en slik oppskalering ikke lykkes. I tillegg er det en risiko for at det oksiderte produktet ikke er tilstrekkelig stabilt til å kunne deponeres. Begge disse risikoene har lav sannsynlighet, men alvorlig konsekvens, og de bør undersøkes videre.

Hos Orano vet man derimot med større sikkerhet hva man får i retur. Det gjenstår imidlertid en del usikkerhet knyttet til behovet for forberedelser av brenselet før det kan represseres. Blant annet, må noe av brenselet kappes opp i mindre biter før det kan represseres. Hvorvidt disse forberedelsene kan eller bør gjøres hos Orano eller hos en tredjepart (f.eks. Studsvik), er uavklart. Det samme er prisen og varigheten til forbehandlingen. I tillegg gjenstår det å avklare i større detalj hvilke brenselelementer som ikke kan represseres, samt hva det vil koste å tørke og pakke dem som forberedelse for deponering.

I begge behandlingalternativene sendes brenselet fra dagens lagre en gang mellom 2025 og 2030, og stabilisert avfall returneres til Norge i 2040. Det returnerte avfallet kan da enten deponeres eller lagres midlertidig. Dersom man ønsker å deponere avfallet, kan det enten gjøres i en fjellhall omtrent 500 meter under bakken, eller i et borehull som er 1000-3000 meter dypt. Deponering i fjellhaller er det mest modne av disse konseptene, mens et borehullsdeponi kan være vesentlig billigere, særlig for den i internasjonal sammenheng beskjedne mengden avfall det er snakk om. Derfor har en viktig vurdering vært om behandling hos Orano eller Studsvik utelukker et av deponikonseptene. Det gjør de ikke.

Returavfallet fra hhv. Orano og Studsvik har fordeler og ulemper som langt på vei utligner hverandre. Ved repressering, kan man velge mellom å få tilbake omtrent 8 beholdere med 183 liter volum høyradioaktivt avfall, eller omtrent 500 beholdere på samme størrelse med langlivet mellomradioaktivt avfall. Antallet beholdere høyradioaktivt avfall ble oppjustert fra 5 til 8 kort tid før denne utredningen ble ferdigstilt. Retur av mellomradioaktivt avfall fra repressering er kun en fordel dersom mellomradioaktivt returavfall er vesentlig enklere å deponere enn høyradioaktivt returavfall, og dersom alt brenselet som ikke kan represseres i stedet kan konverteres til mellomradioaktivt avfall via den alternative smeltemetoden. Per i dag fremstår det derfor som usannsynlig at retur av mellomradioaktivt avfall er hensiktsmessig, men dette er noe som bør undersøkes videre frem til man eventuelt må bestemme seg for en av typene returavfall.

En sammenligning av returavfall fra Orano og Studsvik viser at førstnevnte sitt har fordel av at det utgjør et noe mindre totalvolum og ikke inneholder spaltbart materiale (uran og plutonium), mens sistnevntes avfall passer lettere inn i det svensk-finske deponikonseptet KBS-3, inkludert at avfallsbeholderne er kompatible med innkapslingsanlegget som skal bygges i Sverige. De respektive fordelene går langt i retning av å utligne hverandre.

Vi har i denne utredningen lagt til grunn av uran og plutonium som skilles ut under repressering ikke returneres til Norge, men blir brukt til sivil kraftproduksjon i Frankrike. Bruken av disse materialene vil reguleres av en bilateral avtale mellom Norge og Frankrike.

Alle konseptene, inkludert nullalternativet, innebærer risiko for ulykker under lagring, transport eller behandling. For alle konseptene anses denne risikoen for lav, og forskjellen i risiko som for liten til å være avgjørende for valg av konsept. Repressering er en kontroversiell teknologi, men de driftsmessige utslippene fra Oranos anlegg er godt innenfor både norske og internasjonalt aksepterte utslippsgrenser.

Begge leverandørene har det til felles at det er usikkerhet knyttet til hva det vil koste å behandle brukt brensel hos dem, samt leverandørens tekniske gjennomføringsevne og soliditet. I Orano sitt tilfelle, skyldes usikkerheten en rekke uavklarte spørsmål om praktisk gjennomføring av transport og forbehandling før repressering. Kostnadene og gjennomføringsevnen ved behandling hos Studsvik er også usikre, bl.a. fordi oksidering er en mindre utprøvd metode enn repressering. I tillegg – og kanskje vel så viktig – kan det med hver leverandør være mulig å forhandle frem gunstige vilkår, særlig dersom begge leverandørene anses som realistiske alternativer til hverandre, slik at den nåværende konkurransesituasjonen videreføres. Tabell 1 viser kostnadsestimatene (P50) som er lagt til grunn for den samfunnsøkonomiske analysen.

Tabell 1: Estimater for investeringskostnader knyttet til transport, behandling og midlertidig lagring frem til 2040 (2040 brukes som et endepunkt for å kunne sammenligne alternativene, fordi da returneres avfall fra Studsvik eller Orano). Den nederste raden viser driftskostnaden for lagring i Norge. For alternativ a, b, c, og d er det antatt at brenselet sendes til behandling innen 2028. Driftskostnadene er beregnet frem til 2040 for alternativ 0. Alle tall i millioner kroner eks. mva.

		Alt. 0 Fortsatt midlertidig lagring	Alt. a, b) Repressering	Alt. c) Oksidering	Alt. d) Mekanisk forbehandling
	Basiskostnad	600	3 100	2 700	1 800
+	Forventet tillegg	800	900	1 400	800
=	Forventningsverdi	1 400	4 000	4 100	2 600
+	Usikkerhetsavsetning	700	1 300	1 200	600
=	P85-estimat	2 100	5 300	5 300	3 200
+	Driftskostnader for midlertidig lagring	1000	400	400	400

Når det gjelder gjennomføringstakt og transportbehov så finnes det fordeler og ulemper ved begge leverandørene. Et viktig moment i valg av løsning vil kunne være hvor raskt brenselet kan fjernes fra anleggene. Den økonomiske gevinsten ved å få fjernet alt brensel antas ligge i størrelsesorden 50 mill. kroner per år i rene personalkostnader, i tillegg kommer samfunnsgevinsten ved redusert risiko for vertskommuner og økt tempo i faktisk dekommissjonering. Tross dette mener vi at det må forhandles med begge leverandører i parallell frem til dagens usikkerheter rundt økonomiske vilkår, tidslinjer og teknisk modenhet er bedre avklart. NND ønsker seg derfor et mandat for å gjennomføre

forhandlingene, og foreslår at man har som målsetning å ta en regjeringsbeslutning om behandlingsmetode i løpet av 2021.

Liste over forkortelser

DSA	Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet
HBWR	Halden Boiling Water Reactor (Haldenreaktoren)
IAEA	Det internasjonale atomenergibyrået (International Atomic Energy Agency)
JEEP I	Joint Establishment Experimental Pile I
JEEP II	Joint Establishment Experimental Pile II
KS1	Kvalitetssikringsutredning, trinn 1
KVU	Konseptvalgutredning
NFD	Nærings- og fiskeridepartementet
NND	Norsk nukleær dekommisjonering (Norsk statlig etat for avvikling av nukleære anlegg og håndtering av radioaktivt avfall)
RWM	Radioactive Waste Management (Britisk statlig etat for håndtering av radioaktivt avfall)
UO ₂	Uranoksid

Innhold

1	Bakgrunn	1
1.1	Oppdrag og mandat fra NFD	2
1.2	Om gjennomføringen av KVV-arbeidet	3
2	Problembeskrivelse	6
3	Behovsanalyse	9
3.1	Bredden i aktuelle, konkrete behov	9
3.2	Behov relatert til problembeskrivelsen	9
3.3	Interessentanalyse	10
4	Strategiske mål	12
5	Rammebetingelser for konseptvalg	13
5.1	Lover og forskrifter	13
5.2	Internasjonale forpliktelser og retningslinjer	15
6	Mulighetsstudie	17
6.1	Oppbevaring av brukt brensel	17
6.2	Bruk av dokumentasjon fra tidligere utredninger	20
6.3	Ny kunnskap som utvider mulighetsstudiene i KVV (2015) og KS1 (2016)	20
6.4	Mekanisk forbehandling (direktedeponering)	23
6.5	Kjemisk kondisjonering (stabilisering) av brukt brensel	24
6.6	Oppsummert: Ikke alle løsninger er relevante for alle typer brukt brensel	29
7	Alternativanalyse	31
7.1	Sentrale forutsetninger og metodiske valg	31
7.2	Samfunnsøkonomiske virkninger	34
7.3	Kjemisk behandling tilfredsstiller samfunnsmålet	43
7.4	Ikke-prissatte virkninger	46
7.5	Samlet vurdering og anbefaling	55
8	Føringer for forprosjektfasen	59
8.1	Fremdriftsplan	59
8.2	Prosjektstrategi	61
8.3	Konklusjoner	62

1 Bakgrunn

I Norge finnes det fire kjernereaktorer som har blitt benyttet til forskning. På Kjeller står JEEP I, NORA (delvis dekommisjonert) og JEEP II. I Halden står HBWR-reaktoren (Halden Boiling Water Reactor). Forskningsreaktorene på Kjeller og i Halden eies og drives av Institutt for energiteknikk (IFE). IFE er en uavhengig forskningsstiftelse. I juni 2018 vedtok IFEs styre å permanent stenge driften av Haldenreaktoren og i april 2019 stengte også JEEP II på Kjeller. Dermed finnes det ikke lenger noen atomreaktorer i drift i Norge.

Reaktorene, øvrige nukleære anlegg og tilhørende personell skal i løpet av de nærmeste årene overføres til Norsk nukleær dekommisjonering (NND). NND er en statlig etat underlagt Nærings- og fiskeridepartementet (NFD). NNDs oppgave er å avvikle reaktorene og øvrige nukleære anlegg, samt håndtere radioaktivt avfall fra avviklingen og fra andre avfallsprodusenter.

Totalt har driften av JEEP I, JEEP II og HBWR produsert 16.5 tonn brukt brensel (Brenselet fra NORA ble returnert til USA etter at den reaktoren ble stengt). 16.5 tonn er ingen stor mengde sammenlignet med land med kjernekraftverk, men det må likevel håndteres og lagres på en sikker og forsvarlig måte. Brukt reaktorbrensel oppbevares foreløpig på IFEs anlegg i Kjeller og Halden. Deler av brenselet betegnes som ustabil, noe som kompliserer veien fram til en endelig løsning for oppbevaring.

Planleggingen av hvordan Norge skal rydde opp i sin nukleære arv og håndtere sitt radioaktive avfall, har gjentatte ganger vært utredet over de siste 25 årene. Utredningene viser at det vil være komplisert og tidkrevende å rydde opp i historisk avfall. Dette på tross av at Norge har hatt en begrenset nukleær virksomhet og har relativt lite radioaktivt avfall.

Blant spørsmålene som er behandlet i tidligere utredninger er om, og eventuelt hvordan, ulike deler av det brukte brenselet kan behandles før oppbevaring (lagring og/eller deponering). Dette spørsmålet ble bl.a. behandlet av en konseptvalgutredning fra 2015 (KVU (2015)) gjennomført av DNV GL [1]. Konseptvalgutredningen ble kvalitetssikret av Atkins & Oslo Economics, (KS1 (2016)) [2]. KVU (2015) anbefalte repressering av alt brukt brensel. KS1 (2016) anbefalte at brensel av metallisk uran eller uranoksid i aluminiumskapsling ble sendt til repressering og at alternative behandlingsmetoder ble undersøkt nærmere [2]. Repressering var på det tidspunktet den eneste kommersielt tilgjengelige metoden for å stabilisere brukt brensel.

Nærings- og fiskeridepartementet (NFD) bestilte i kjølvannet av KS1 (2016) en rapport om alternative behandlings- og oppbevaringsmetoder for brukt brensel fra selskapet TUV-Nord [3]. Den rapporten utløste et samarbeid mellom Studsvik og IFE for å utvikle konseptet oksidering, som er et eksempel på det som kalles kjemisk kondisjonering i kapittel 6.3.2 av KS1 (2016) [2]. Studsvik har også utviklet en metode for å skifte ut aluminiumskapslingen på brensel fra JEEP II-reaktoren. Dette er et eksempel på mekanisk kondisjonering. Mekanisk kondisjonering er omtalt i kapittel 6.3.3 i KS1 (2016) [2]. På bakgrunn av anbefalingene fra KVU (2015) og KS1 (2016), er mulighetene for behandling av det norske brukte reaktorbrenselet hos både Orano og hos Studsvik fulgt opp og konkretisert ytterligere av NND gjennom dialog med de to partene.

Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA, tidligere Statens strålevern) fikk i 2018 gjennomført en studie i regi av det britiske selskapet Quintessa, som konkluderer med at det kan være mulig å deponere det ikke-lagingsbestandige brenselet direkte uten at det må behandles først [4].

1.1 Oppdrag og mandat fra NFD

På bakgrunn av foreliggende utredninger så NFD et behov for å *sammenligne og vurdere alternative behandlingsmetoder for norsk brukt brensel ut ifra et helhetlig perspektiv*. NFD gav på denne bakgrunn Norsk nukleær dekommisjonering (NND) i oppdrag å utarbeide *en begrenset konseptvalgutredning (KVU)* for behandling av norsk brukt reaktorbrensel. Oppdraget er beskrevet i oppdragsbrev datert 22. mars 2019 fra NFD til NND [5]. Etter innspill fra NND og dialog med NFD og Finansdepartementet (FIN) ble oppdraget presisert i brev fra NFD [6].

Presiseringen innebar at utredningen endret navn til *begrenset konseptvalgutredning (KVU) om behandling av norsk brukt reaktorbrensel*. Videre ble følgende presisert:

1.1.1 Konseptene som skal utredes er:

- a. Reprosessering med retur av høyradioaktivt avfall
- b. Reprosessering med retur av mellomradioaktivt avfall
- c. Oksidering av metallisk uran og utskifting av aluminiumskapsling
- d. Ingen kjemisk forbehandling - nullalternativ
- e. Kombinasjoner av konsept a-d

1.1.2 Samfunnsmålet er:

"Forsvarlig og kostnadseffektiv behandling av norsk brukt reaktorbrensel i et langsiktig perspektiv."

1.1.3 Effektmålene ble endret til:

"Behandling av norsk brukt brensel

- a. sikrer at avfallet eller brenselet er egnet for langsiktig oppbevaring
- b. gir ingen skadelige virkninger på menneskers helse eller miljøet"

Oppdragsbrevet presiserer at det vil være en sterk sammenheng mellom denne KVU og en kommende KVU om oppbevaring for norsk atomavfall som NFD vil gi oppdrag om. KVU for behandling av norsk brukt reaktorbrensel må derfor beskrive betydningen av de 5 konseptene for oppbevaringsløsningen med hensyn til volum og tilstand på brenselet/avfallet, og i hvilken grad valg av behandlingsløsning begrenser senere valgmuligheter for oppbevaring.

1.1.3.1 Krav og avgrensninger

I det opprinnelige oppdragsbrevet avgrenses KVU-en til de tre behandlingsmetodene som på nåværende tidspunkt er aktuelle: reprosessering hos Orano, oksidering hos Studsvik og direkteponering av brukt brensel uten kjemisk forbehandling. Det presiseres videre at KVU-en skal sammenligne de tre behandlingsalternativene i tråd med statens kvalitetssikringsordning [7]. Alternativene skal rangeres etter prissatte og ikke-prissatte virkninger ut fra hva som samlet vil vurderes å være samfunnsøkonomisk mest lønnsomt [8]. I denne vurderingen skal det legges vekt på hvordan den anbefalte løsningen vil påvirke kostnaden for et nasjonalt deponi for brukt brensel/returavfall der det er de totale kostnadene, inkl. deponikostnaden, som skal være avgjørende for anbefaling av behandlingsløsning for brukt reaktorbrensel.

Oppdragsbrevet av 22.mars 2019 sier videre at det skal vurderes:

- grensesnittet mot dekommisjonering av atomanleggene i Halden og på Kjeller og håndtering av atomavfallet derfra
- en mulig samlokalisering med et nytt nasjonalt anlegg for oppbevaring av lav- og mellomaktivt atomavfall
- om det er relevante fordelingsvirkninger av tiltakene som ikke fanges opp i den samfunnsøkonomiske analysen, for eksempel byrdefordeling mellom generasjoner, og som bør vurderes og synliggjøres som en del av beslutningsgrunnlaget.

I KVVU-arbeidet er det i vurderingen av det første punktet lagt vekt på tidsaspektet, volum og tilstand til avfallet, samt de eksisterende oppbevaringsløsningenes tilstand og eventuelle investeringsbehov for å ivareta kravene til sikker oppbevaring på kort og lang sikt. Spørsmålet om samlokalisering er i liten grad berørt i vurderingen av behandlingsløsningen utover å gi en overordnet vurdering av om noen av behandlingsløsningene utelukker noen oppbevaringsløsninger, herunder samlokalisering med et nytt anlegg for oppbevaring av lav- og mellomaktivt avfall. Byrdefordeling behandles som eget punkt i alternativanalysen.

1.1.3.2 Justeringer tatt under arbeidet:

- a. Forskjellen mellom reprosesseringsalternativene (a og b) gjøres rede for, men de kostnadsberegnes som ett alternativ.
- b. Vi introduserer et nytt nullalternativ: Fortsatt midlertidig lagring, for å overholde kravene til nullalternativet i rundskriv R-109/14.
- c. Alternativ d omdøpes til «mekanisk behandling» for å skille det fra det nye nullalternativet.

1.2 Om gjennomføringen av KVVU-arbeidet

Konseptvalgutredningen for behandling av brukt reaktorbrensel er utarbeidet av NND, der WSP og Vista Analyse har fungert som rådgivere, med hovedfokus på prosjektets usikkerhetsanalyse og samfunnsøkonomiske analyse. NND har i utredningsperioden hatt en nær dialog med Orano og Studsvik om deres løsninger.

Innledende forhandlinger for å spesifisere løsninger, krav og vurderinger, inkludert kostnads- og prisvurderinger, er startet. Forhandlingene er ikke kommet langt nok til at det foreligger resultater som er egnet som grunnlag for en konseptvalgutredning. Utredningen er derfor i stor grad basert på resultatene fra KVVU (2015) [1], KS1 (2016) [2] og faglige vurdering fra NND om den teknologiske og markedsmessige utviklingen som har vært etter disse utredningene ble avsluttet. Utredningen bygger også på resultatene fra tidligere utredninger på feltet og dialog med sentrale aktører på feltet.

I arbeidet er det lagt vekt på at dette skal være en *begrenset KVVU*. Dette er tolket som at tidligere kvalitetssikrede resultater og vurderinger som fremdeles ansees som gyldige, kan legges til grunn for utredningsarbeidet. Dette innebærer eksempelvis at interessentanalysen fra KVVU (2015) er lagt til grunn der arbeidet i denne utredningen er avgrenset til å vurdere eventuelle endringer som tilsier andre vurderinger. Mulighetsstudien bygger også på tidligere utredninger som har utforsket mulighetsrommet. Mulighetsstudien er derfor i første rekke avgrenset til å vurdere eventuelle nye løsninger som er kommet til etter KVVU (2015) og KS1 (2016). Mandatet gitt i oppdragsbrevet datert 22. mars 2019 fra NFD til NND [5] avgrenser KVVU-en til de tre behandlingsmetodene. Dette tilsier en forenklet mulighetsstudie.

I alternativanalysen er det lagt vekt på at konseptene skal detaljeres så langt som nødvendig (men ikke lengre) for å ta stilling til i hvilken grad de oppnår fastsatte mål og rammebetingelser, og for å gjennomføre en samfunnsøkonomisk analyse med både prissatte og ikke prissatte virkninger [7]. I vurderingen av prissatte virkninger er det tatt hensyn til at det er stor usikkerhet, både mht. kostnader og prosjektspesifikasjon. I vurderingene av anbefalte løsninger skal det legges vekt på de totale kostnadene, inkludert kostnadene for sluttoppbevaring, og det skal tas hensyn til hvordan behandlingen av brenselet påvirker kostnadene og mulige løsninger for sluttoppbevaring.

Det er utenfor denne utredningens mandat og rammer å utrede løsninger og kostnader ved ulike sluttoppbevaringskonsepter. Det foreligger kun grove anslag over ulike oppbevaringsløsninger der anslagene er basert på tidligere utredninger og erfaringsoverføringer fra noenlunde sammenliknbare prosjekter. Det vurderes derfor som mer relevant å vurdere hvordan ulike behandlingalternativer påvirker totalkostnadene og endelig løsning, enn å detaljere og spesifisere kostnadene ved ulike behandlingkonsept. Kostnadsberegningene er derfor holdt på et overordnet aggregert nivå, der det redegjøres for usikkerhet på både nytte- og kostnadssiden. Det er lagt større vekt på å vise hva som skiller behandlingalternativene på kostnads- og nyttesiden, usikkerhet og hvordan behandlingløsningene påvirker en sluttoppbevaringsløsning, enn å forsøke å komme fram til presise kostnadsestimat gjennom en bottom-up-tilnærming. Kostnadsestimatene på aggregert nivå er overveiende stokastisk og tilsvarer estimatklasse 4 [9]. Dette betyr at inngangsdataene til både den samfunnsøkonomiske analysen og beregningen av P50 og P85 av investeringskostnadene er basert på inngangsdata og faglige ekspertvurderinger fra fagressurser i NND.

1.2.1 Oppbevaring av høyradioaktivt avfall behandles i en egen KVV

Brukt reaktorbrensel er høyradioaktivt avfall, hvilket vil si at det inneholder høye konsentrasjoner av radioaktivitet med lang halveringstid. Det betyr at mennesker og miljø må beskyttes fra det i flere hundre tusen år [10, 11]. Det finnes flere måter å oppbevare høyradioaktivt avfall på, men de kan deles i to kategorier: *lagre og deponier*.

Et lager er en midlertidig konstruksjon som krever tilsyn og vedlikehold i løpet av hele sin begrensede levetid, mens et deponi er et permanent anlegg som er basert på passive barrierer mot utslipp. Etter at et deponi er stengt, vil det ikke påløpe ytterligere driftskostnader. På lang sikt kan derfor deponering være kostnadseffektivt sammenlignet med lagring, til tross for at førstnevnte kan antas å ha høyere etableringskostnader.

I tillegg til rent økonomiske argumenter finnes det mer normative argumenter for deponering fremfor lagring. Det gjelder særlig hensynet til fremtidige generasjoner. For det første må fremtidige generasjoner beskyttes mot det radioaktive avfallet. For det andre kan det argumenteres for at de ikke bør påføres en utilbørlig byrde med å håndtere avfall som de ikke har vært med på å produsere. Dette argumentet kan nyanseres ved å trekke inn økonomiske fordelingshensyn mellom generasjoner. I dette perspektivet kan det argumenteres for at ansvaret for å håndtere avfallet kan overføres til fremtidige generasjoner under forutsetning av at de settes i bedre økonomisk stand til å håndtere avfallet enn nåværende generasjon er. Dette er et av tema der det er interessemotsetninger i form av ulike vektlegginger og tolkning av hva som skal forstås med en utilbørlig byrde.

For at et deponi skal kunne ha en levetid på flere hundre tusen år, må det ligge dypt under bakken. På den måten beskyttes kapslene som inneholder avfallet mot bl.a. erosjon, menneskelig inntrengning, og jordskjelv. I tillegg beskyttes mennesker og miljø av avstanden som radionuklidene må bevege seg

for nå overflaten, i tilfelle avfallskapslene skulle svikte. Deponiet beskyttes mot *gjennomstrømming* av grunnvann ved at det plasseres så dypt at grunnvannet er tilnærmet stillestående. Det er derimot vanskelig å utelukke alle eventualiteter som kan føre til at avfallskapslene svikter, slik at avfallet *kommer i kontakt med* grunnvann. Derfor er avfallets egenskaper i kontakt med vann er av stor betydning.

Hvordan det brukte brenselet kan oppbevares etter en eventuell behandling, vil som nevnt behandles i en egen KVVU. Hensynet til senere oppbevaring skal likevel ivaretas og vektlegges i vurderingen av behandlingsløsning.

2 Problembeskrivelse

Institutt for energiteknikk (IFE) drev fire forskningsreaktorer i Norge i løpet av perioden 1951 til 2019. Reaktorene er nå stengt og prosessen for å rive anleggene og håndtere avfallet er i planleggingsfasen. Driften av atomreaktorene i Halden og på Kjeller har medført produksjon av 16,5 tonn brukt reaktorbrensel. Tidligere utredninger har konkludert med at 11.5 av disse tonnene er kjemisk ustabile og derfor ikke egnet for langsiktig oppbevaring, fordi de består av materialer som er mindre stabile enn konvensjonelt moderne reaktorbrensel [1, 2, 12, 13].

Norge har, som medlem av Det internasjonale atomenergibyrået (IAEA), signert felleskonvensjonen om sikkerhet ved håndtering av brukt kjernebrensel og sikkerhet ved håndtering av radioaktivt avfall. Felleskonvensjonen sier i punkt 6 at «staten har det endelige ansvar for å garantere sikkerheten ved håndtering av brukt brensel og radioaktivt avfall» [14]. IFE, som gjennom sin forskningsvirksomhet har generert avfallet, har ikke økonomi til å finansiere en løsning som sikrer at brenselet ivaretas på en trygg måte. Staten er derfor forpliktet til å håndtere avfallet i tråd med kravene som følger av felleskonvensjonen for å ivareta mennesker og miljøets sikkerhet.

Det brukte brenselet lagres i dag på Kjeller og i Halden. Dagens løsning tilfredsstiller ikke alle nåværende krav som gjelder for lagring. Problemet som følger med det brukte reaktorbrenselet er omfattende i den forstand at det vil vedvare i all overskuelig fremtid. Brenselet må håndteres på en måte som forebygger atomulykker eller annen miljøskade, spredning av atomvåpen eller at brenselet blir brukt i skitne bomber. Selv om mengden brukt brensel i Norge er liten, sammenliknet med den i land som har eller har hatt kommersiell atomkraft, vurderes problemet som følge av varighet og de alvorlige konsekvensene som kan oppstå med denne type brensel, som omfattende.

Risikoen og konsekvensene av uønskede hendelser som kan oppstå i forbindelse med oppbevaring av brukt, ustabil brensel, berører i prinsippet hele samfunnet. Uønskede hendelser kan også ha konsekvenser utenfor Norges grenser. Dette er også noe av begrunnelsen for at det foreligger internasjonale avtaler og konvensjoner om behandling av brukt brensel og radioaktivt avfall.

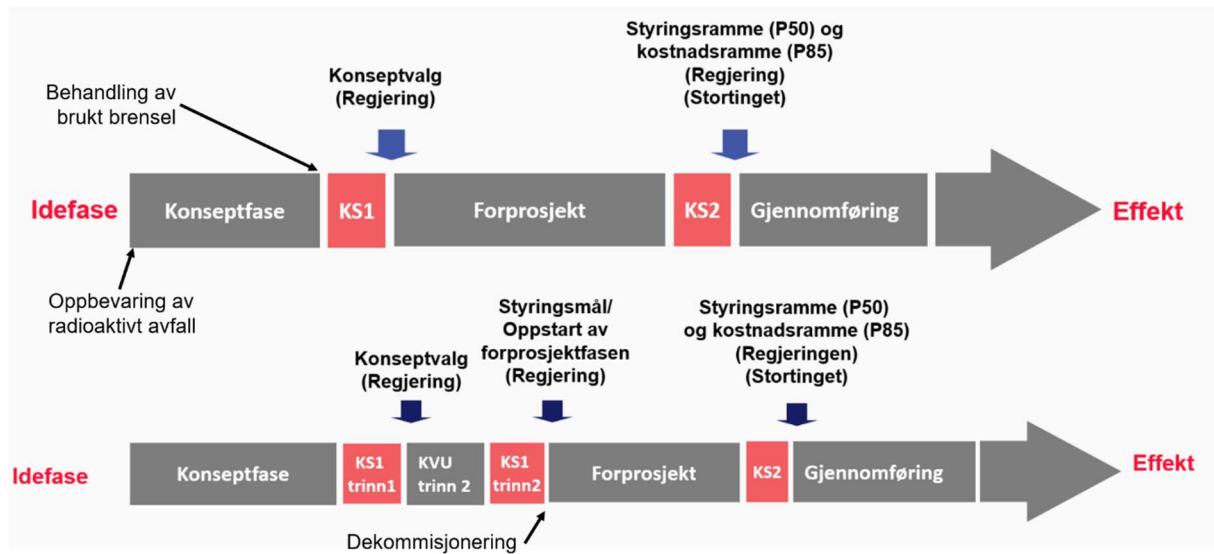
Den forventede fremtidige utviklingen av problemet uten tiltak, er at brenselets kjemiske egenskaper i beste fall vil være uforandret. I verste fall kan brenselet korrodere hvilket vil si at det blir enda mindre kjemisk stabilt og vanskeligere å håndtere.

Flere utredninger har konkludert med at ustabil brukt reaktorbrensel må behandles før det kan få en endelig oppbevaring. Problemet denne utredningen omhandler er brenselets tilstand og behovet for å behandle brenselet før det kan få en endelig oppbevaring.

Spørsmålet denne utredningen søker å besvare er: Bør Norges brukte reaktorbrensel gjennomgå kjemisk behandling, og hvordan bør det eventuelt behandles? Samtidig planlegges en parallell konseptvalgutredning (KVU) for oppbevaring av radioaktivt avfall, inkludert brukt brensel. Temaene for de to utredningene henger sammen, fordi hensikten med en eventuell kjemisk behandling er å sikre trygg oppbevaring. Begge temaene ble omhandlet av samme KVU i 2015 [1].

Et annet grensesnitt for denne utredningen er det mot konseptvalgutredningen av dekommisjonering av de nukleære anleggene på Kjeller og i Halden (KVU dekommisjonering [15]). Konklusjonene og anbefalingene fra konseptvalgutredningen av dekommisjonering utdyper problemet om behandling

mht. tidsaspekt, kostnader og risiko ved håndtering og oppbevaring av brenselet fram til en behandlingsløsning og endelig oppbevaringsløsning er valgt.

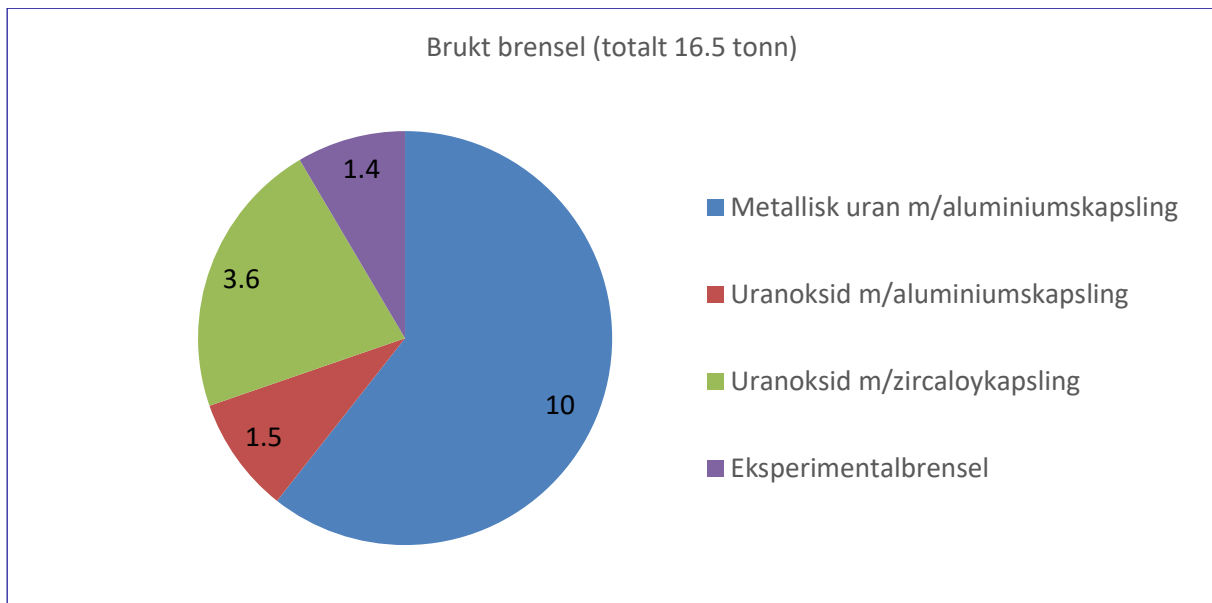


Figur 1: Illustrasjon av de tre utredningene som til sammen omhandler oppryddingen etter den nukleære virksomheten i Halden og på Kjeller, samt håndtering av brukt brensel og annet radioaktivt avfall. Den øverste pilen viser et løp med konseptvalgutredning (KVVU) i ett ledd. Den nederste inkluderer KVVU i to ledd. Figurene er hentet fra rundskriv R-108/19 Statens prosjektmodell - Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten fra Finansdepartementet [16].

Konseptvalgutredningen om dekommisjonering anbefalte blant annet [15]:

- å iverksette dekommisjoneringen så snart som mulig
- å sikte mot å rydde opp i en utstrekning som gjør at områdene kan fristilles til ubegrenset bruk
- å sikre at det etableres helhetlige løsninger for rivningsavfallet, inkludert tilstrekkelig kapasitet for å håndtere radioaktivt avfall

Problemforståelsen for KVVU dekommisjonering og denne utredningen henger sammen i den forstand at brenselet må fjernes fra anleggene for at dekommisjoneringen skal kunne fullføres. Nåsituasjonen er at IFE ikke får lastet brensel ut av reaktoren i Halden inntil reviderte kritikalitetsberegninger er godkjent av DSA. De foreløpige beregningene viser at det er tilstrekkelig lagringskapasitet i lageret i Halden til å fjerne alt brensel fra reaktorhallen. På Kjeller er det tilstrekkelig lagringskapasitet i Brønnohuset for alt brensel fra JEEP-II-reaktoren.



Figur 2: Oversikt over de ulike typene brukt atombrensel som finnes i Norge.

Norsk brukt brensel kan deles i fire kategorier:

- 10 tonn metallisk uran innkapslet i aluminium fra JEEP-I-reaktoren på Kjeller og den første brenseladningen som ble brukt i Haldenreaktoren.
- 1.5 tonn uranoksid innkapslet i aluminium. Dette brenselet ble brukt i JEEP-II-reaktoren.
- 3.6 tonn brensel av uranoksid innkapslet i zircaloy. Dette var driftsbrensel i Haldenreaktoren, etter den første ladningen.
- 1.4 tonn eksperimentalbrensel, hovedsakelig av uranoksid innkapslet i zircaloy, men også oksider av thorium og plutonium og andre kapslinger (for eksempel stål, aluminium og andre legeringer).

Hvilke materialer brenselet består av er vesentlig, fordi materialenes egenskaper påvirker hvordan brenselet kan oppbevares på en trygg måte. Metallisk uran kan brenne eller skape en kjemisk eksplosjon, så lenge det er i kontakt med luft (det er pyroforisk, se kapittel 6.3.1) [17]. I kontakt med vann kan det korrodere og dermed danne uranoksid og hydrogengass, samt frigjøre radioaktive materialer (fisjonsprodukter og actinoider). Hydrogen kan reagere med metallisk uran og danne uranhydrid. Hydrogen og uranhydrid er i likhet med metallisk uran brann- og eksplosjonsfarlige [13, 18]. Temperaturen som skal til for å skape en eksplosjon er sterkt avhengig av overflatearealet til materialet og om det er uranhydrid til stede [17, 19]. Aluminium kan korrodere dersom det kommer i kontakt med vann. Det kan føre til at noe av radioaktiviteten i brenselet frigjøres og at det dannes hydrogengass [13]. Uranoksid og zircaloy er derimot svært korrosjonsbestandige. Det samme gjelder oksider av thorium og plutonium.

Problemene som må løses før endelig lagring er med andre ord sammensatte, og varierer med materialsammensetningen av brenselet.

3 Behovsanalyse

3.1 Bredden i aktuelle, konkrete behov

I tråd med Finansdepartementets krav har vi i behovsanalysen lagt vekt på å beskrive bredden i aktuelle, konkrete behov relatert til problembeskrivelsen, vurdert i et overordnet samfunnsperspektiv. Problemet denne konseptvalgutredningen omhandler er, som vist i foregående kapittel, brenselets tilstand, og hvordan ulike behandlingsformer påvirker mulighetsrommet og løsningsvalg for en endelig oppbevaring av brenselet. Det er gjennomført grundige behovsanalyser i KVVU (2015) [1] og KS1 (2016) [2]. Behovene for å løse problemene som følger med brenselet (beskrevet i foregående kapittel), er etter våre vurderinger grundig utredet og begrunnet i KVVU (2015) og KS1 (2016). I og med at dette er en begrenset KVVU, har vi oppsummert de mest relevante behovene for problemstillingen i denne konseptvalgutredningen med henvisning til tidligere utredninger.

En behovsanalyse skal inneholde en kartlegging av relevante interessenter/aktører i en interessentanalyse. Analysen skal få frem hvem som berøres av tiltaket og avdekke interessekonflikter. Også på dette punktet støtter vi oss på interessentkartlegginger fra tidligere utredninger, der vi trekker fram de vesentligste interessekonfliktene for det avgrensede problemet denne konseptvalgutredningen er rettet mot.

I tråd med kravene til en behovsanalyse oppsummerer vi analysen med en vurdering av styrken i de ulike identifiserte behovene og med en spesifisering av hvilket behov som skal legges til grunn for den videre utredningen.

3.2 Behov relatert til problembeskrivelsen

Samfunnsbehovet fra tidligere utredninger er: *Forsvarlig oppbevaring av radioaktivt avfall i et langsiktig perspektiv*. Resultatene fra tidligere utredninger viser at det er behov for å behandle det brukte reaktorbrenselet for å sikre en forsvarlig oppbevaring av brenselet i et langsiktig perspektiv. Det avledede samfunnsbehovet basert på problembeskrivelsen for denne konseptvalgutredningen blir med dette utgangspunktet:

En forsvarlig og kostnadseffektiv behandling av norsk brukt reaktorbrensel som muliggjør en forsvarlig lagring i et langsiktig perspektiv.

Samfunnsbehovet er også det prosjektutløsende behovet, og kan betraktes som en forutsetning for å kunne realisere et langsiktig mål om forsvarlig oppbevaring av norsk radioaktivt avfall. Vi understreker at forutsetningen er i kategorien nødvendig, men ikke tilstrekkelig. Med dette menes at det kreves en eller annen form for behandling for at brenselet kan gis en forsvarlig langsiktig oppbevaring, men at en kostnadseffektiv og forsvarlig behandling alene ikke i seg selv sikrer en forsvarlig langsiktig lagring. En forsvarlig langsiktig lagring krever ytterligere tiltak etter behandlingen.

Av øvrige identifiserte behov fra KVVU (2015) oppsummert i tabell 3-1 side 21 [1], er følgende behov relevante for problembeskrivelsen i foregående kapittel:

Primære behov avledet av samfunnsbehovet

- i. Risikonivået for skadelige virkninger av stråling på menneskers helse er innenfor akseptable grenser

- ii. Risikonivået for skadelige virkninger på miljøet er innenfor akseptable grenser
- iii. Behandlingsanleggene og transport av radioaktivt materiale er forsvarlig sikret mot sabotasje, terror og tyveri
- iv. Tilgang til riktig kompetanse og informasjon
- v. Etablere avtaler for behandling av brukt brensel
- vi. Fleksibel løsning som ikke låser handlingsrommet i fremtiden
- vii. Ivareta kvalitet på nærområder for rekreasjon, jakt og fiske og stedlig kulturell arv og historiske minnesmerker

Med unntak av punkt iii. som er svakt omformulert, er samtlige punkter hentet fra identifiserte primærbehov i KVU (2015). KVU (2015) hadde et bredere mandat og derfor også flere behov som ikke er relevante for vår problemstilling. For en utdypende begrunnelse av behovene viser vi til KVU (2015) [1].

3.3 Interessentanalyse

Interessentanalysene som ble gjort i KVU (2015) [1] og KS1 (2016) [2] kan med noen justeringer og forenklinger overføres til denne utredningen, fordi temaene for de ulike utredningene overlapper. De viktigste justeringene har å gjøre med at NND har blitt opprettet og skal overta IFEs nukleære anlegg, inkludert brenselet og brenselslagrene. I tillegg er interessentanalysen tilpasset det snevrere mandatet i denne utredningen, som kun gjelder behandling av brukt brensel – ikke behandling og deponering av brensel og øvrig radioaktivt avfall. Produsenter av andre typer radioaktivt avfall er altså ikke interessenter i denne utredningen.

I KVU (2015) er det brukt en interessegruppebasert metode der interessentenes behov kartlegges. I tråd med IAEA sine prinsipper ble interessentene kategorisert i fire hovedgrupper: Behovsutløsere og utførere, myndigheter, samarbeidende og berørte næringer, og lokal- og storsamfunn. Myndighetsorganer er formelt sett ikke interessenter, men kan karakteriseres som berørte aktører der de har en rolle i form av å skulle gjennomføre vedtatt politikk, håndheve og eventuelt utvikle regelverk, føre tilsyn mv. I denne KVU har vi ikke behandlet myndighetsorganer som interessenter, men i stedet gitt en overordnet gjennomgang av relevante rammebetingelser og regelverk (se kapittel 5).

KS1 (2016) [2] vurderer at interessentanalysen i KVU (2015) er grundig og omfattende, og at alle relevante og interessenter med høy sannsynlighet er fanget opp. Det pekes på at det i liten grad er omtalt hvilke interessekonflikter som kan tenkes å oppstå, men det vurderes ikke som en alvorlig svakhet i og med det antas at behovene hos de ulike interessentene i stor grad er sammenfallende. Vår vurdering er at samtlige interessenters behov i stor grad sammenfaller med de avdekkede primærbehovene. Berørte kommuner, og da i første rekke de to kommunene som i dag har anlegg der brukt brensel lagres, kan ha en sterkere interesse i valg av behandlingstiløpsløsningen enn øvrige kommuner. Det antas likevel at berørte kommuner er mest opptatt av hvilken oppbevaringsløsning (ikke behandlingstiløpsløsning) som velges, og hvor lenge dagens oppbevaring av brenselet skal videreføres. Når det gjelder vurderinger og interesser av ulike behandlingstiløpsalternativer går de mest sentrale interessentmotsetningene på ulike vurderinger av risikoer, vektlegging av sikkerhet og opplevd trygghet og fordelingshensyn. Dette handler dels om faglig uenighet innad og på tvers av ulike fagmiljøer med nukleær kompetanse, politiske skillelinjer, befolkningsgrupper osv, herunder ulike interesseorganisasjoner.

I de følgende avsnittene fokuserer vi på det vi mener er de mest sentrale interessekonfliktene.

3.3.1 Vurdering av risiko og opplevd trygghet i befolkningen

Behandling av brukt brensel vil alltid innebære en viss risiko for uhell. Hvis det skulle skje en stor ulykke ved Oranos reprosesseringsanlegg i Frankrike eller Studsviks eventuelle oksideringsanlegg i Sverige, ville det kunne ha alvorlige konsekvenser for mennesker og miljø. Så også dersom det skjer en ulykke under håndtering av brukt brensel av metallisk uran i Norge, men de tre ulykkesscenarioene ville ha påvirket mennesker og miljø i forskjellige geografiske områder. På den måten innebærer behandling av brukt brensel ulik geografisk fordeling av risiko, avhengig av hvor behandlingen utføres. I tillegg til faktisk risiko innebærer det en ulik geografisk fordeling av opplevd trygghet; lokalbefolkningen ved behandlingsanleggene kan anse risikoen for større enn hva faglige vurderinger tilsier.

Fordelingen av risiko avbøtes ved at de nasjonale tilsynsmyndighetene i de aktuelle landene vurderer sikkerheten ved anleggene og kun gir tillatelse til at behandlingen kan utføres dersom risikoen er akseptabel.

Ifølge felleskonvensjonen om sikkerhet ved håndtering av brukt kjernebrensel og sikkerhet ved håndtering av radioaktivt avfall er hvert land ansvarlig for å håndtere sitt radioaktive avfall. Å bruke kommersielle behandlingstjenester i utlandet strider ikke med det prinsippet [20]. Dersom brenselet sendes til behandling i utlandet, så vil NND som eieren av brenselet være ansvarlig for å følge opp at brenselet håndteres på en forsvarlig måte. Dette er forankret i avfallsforskriftens § 16-11, som også sier at eksport av radioaktivt avfall krever tillatelse fra DSA og myndighetene i import- og eventuelt transitland (se kapittel 5.1.3). Slik kan Norge ivareta sitt ansvar for brenselet, selv om det sendes til behandling i utlandet.

Fordelingsvirkninger mellom de som kan påvirkes av en ulykke under behandling av brukt brensel og de som kan påvirkes av en ulykke under oppbevaring av brukt brensel anses derfor ikke som viktig for valg av konsept.

3.3.2 Fordelingsvirkninger mellom nåværende og fremtidige generasjoner

Et generelt prinsipp for håndtering av radioaktivt avfall er at fremtidige generasjoner ikke skal påføres utilbørlige byrder [21]. Hvor man trekker grensen for hva som er tilbørlig er en normativ vurdering. På dette området er det ulike vurderinger mht. hva som vurderes som utilbørlig og hva som skal inkluderes i vurderingen av byrden som legges på kommende generasjoner. I den ene enden av skalaen kan man tolke prinsippet som at fremtidige generasjoner ikke skal påføres større byrder enn dem vår generasjon har. I den andre enden kan man si at ingen byrder skal overføres overhodet. Det er også ulike vurderinger av om økonomi skal inkluderes i byrdefordelingen mellom generasjonene. Ytterpunktene her går mellom en tolkning der det på den ene siden argumenteres for at kostnadene ved å håndtere avfallet i dag ikke skal inkluderes i vurderingen av byrdefordelingen mellom generasjoner, mens man i den andre enden argumenterer for at kostnadseffektivitet på tvers av generasjoner bør gjelde og at kostnader ved fremtidig håndtering av avfallet kan aksepteres dersom det også overføres økonomiske ressurser som setter fremtidige generasjoner i stand til å håndtere avfallet med mindre belastning enn som følger av en håndtering i dag. Penger som eventuelt brukes på å håndtere alt avfallet i dag, kan alternativt brukes på andre tiltak som kunne ha kommet fremtidige generasjoner til gode.

3.3.3 Stabilisering og gjenvinning kontra ikkespredning

Under reprosessering skilles uran og plutonium ut for å kunne brukes til å lage nytt brensel som brukes i sivil kraftproduksjon i Frankrike. Dette vil være forankret i en avtale mellom Norge og Frankrike, dersom man velger å gjennomføre reprosessering. Uran og plutonium fra Orano sitt anlegg brukes som råstoff til produksjon av brensel til bruk i sivile reaktorer, ikke til militære formål. Mengden uran i det norske brenselet er opp til 16.5 tonn, mens Orano reprosesserer omtrent 1700 tonn uran hvert år. Mengden plutonium i det norske brenselet er under 100 kg. Til sammenligning hadde Frankrike pr. 2016 ca. 7 tonn militært plutonium, og 65.4 tonn sivilt plutonium [22]. Man kan imidlertid diskutere temaet på et prinsipielt nivå. Behandlingen hos Studsvik vil ikke skille ut uran og plutonium, så der er problemstillingen ikke relevant.

At uran og plutonium skilles ut for å produsere nytt brensel betyr at reprosessering i større grad enn alternativene bidrar til sirkulærøkonomi, men som for ikke-spredningsargumentet må man ta med i betraktningen at Frankrike har mer enn nok av uran og plutonium, og at verdien av å gjenvinne disse materialene derfor er liten, sammenlignet med verdien av å ivareta høyradioaktivt avfall på en trygg måte. På dette punktet er det klare interessentmotsetninger der ytterpunktene går fra å legge all vekt på ikkespredningsargumentet, mens det andre ytterpunktet vektlegger sirkulærøkonomiargumentet og nytteaspektet ved gjenbruk, kombinert med en kostnadseffektiv og trygg håndtering av det brukte brenselet.

4 Strategiske mål

Med grunnlag i problembeskrivelsen har følgende samfunns mål blitt definert:

Forsvarlig og kostnadseffektiv behandling av norsk brukt reaktorbrensel i et langsiktig perspektiv

Følgende effektmål har blitt utledet fra samfunns målet:

Behandling av norsk brukt brensel

- a. sikrer at avfallet eller brenselet er egnet for langsiktig oppbevaring
- b. gir ingen skadelige virkninger på menneskers helse eller miljøet

For å nå samfunns målet, må man utvikle en helhetlig løsning ved å velge et behandlingskonsept som legger til rette for et oppbevaringskonsept som sikrer en forsvarlig og kostnadseffektiv oppbevaring i et langsiktig perspektiv. Oppbevaringskonseptet skal utredes i en egen konseptvalgutredning og velges på et senere tidspunkt. Valg av behandlingstilsløsningen må likevel se hen til hvilke oppbevaringsløsninger som vil være tilgjengelige for brenselet etter en eventuell behandling. Dette er også presisert i det første effektmålet der det framgår at avfallet eller brenselet skal være egnet for langsiktig oppbevaring.

Det andre effektmålet reflekterer det viktigste behovet som retter seg mot menneskers helse og miljø. Behandlingen skal ikke gi skadelige virkninger. Internasjonalt og norsk lovverk er for øvrig også utformet for å forhindre at radioaktivt avfall og brensel gir skader på menneskers helse eller miljø.

Måloppnåelse vil kunne verifiseres når en langvarig oppbevaringsløsning (lagrer eller deponi) er på plass og er godkjent av alle myndighetsorgan gjennom konsesjoner, tillatelser og kravene som følger med dette.

5 Rammebetingelser for konseptvalg

Rammebetingelsene for konseptvalget omfatter et samlet sett betingelser som skal oppfylles for valg av løsning. Konseptene må tilfredsstillende strenge krav til sikkerhet for helse og miljø. Foreslåtte tiltak vil måtte være innenfor rammebetingelser som defineres av nasjonale lover og forskrifter og de internasjonale avtaler og forpliktelser Norge har inngått.

5.1 Lover og forskrifter

KVU (2015) har i vedlegg 11 en grundig gjennomgang av lovverket som er gjeldende for videre behandling og oppbevaring av høyradioaktivt avfall. KVU (2015) viser til og gjennomgår følgende sentrale lover og forskrifter som setter rammebetingelsene for de konseptuelle løsningene. Her nevnes de sentrale delene av lovverket. Mer omfattende redegjørelser for rammebetingelsene finnes i NOU 2011:2 [23] og KVU (2015) [1].

5.1.1 Atomenergiloven

Paragraf 1, bokstav c i atomenergiloven definerer atomsubstans som: «atombrensel, bortsett fra naturlig uran og utmagret uran, samt radioaktivt produkt, unntatt radioisotoper som brukes til industrielt, kommersielt, jordbruksmessig, medisinsk, vitenskapelig eller undervisningsmessig formål eller som er bestemt for og uten videre brukelige til et slikt formål» § 4 sier at virksomheter som håndterer atomsubstans må ha konsesjon. § 5 sier at «Uten løyve av vedkommende departement må ingen fremstille, eie, lagre, behandle, transportere, omsette eller for øvrig inneha eller anbringe atomsubstans. Løyve trenges dog ikke i den utstrekning virksomhet som her nevnt omfattes av konsesjon som er gitt etter § 4. Vedkommende departement kan gjøre unntak fra løyvetvangen på nærmere fastsatte vilkår.» Løyve omfatter ikke rett til å føre stoffet ut av riket, med mindre dette er særskilt angitt (§ 5, ledd 2).

Paragraf 10 sier: «Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet er det øverste faglige organ når det gjelder sikkerhetsspørsmål. Direktoratet er innstillende og rådgivende instans for vedkommende departement. Direktoratet skal forberede og avgi innstilling om alle søknader om konsesjon og løyve. Direktoratet skal på eget initiativ treffe de tiltak det finner påkrevd av sikkerhetsmessige grunner. Det påhviler direktoratet å føre kontroll med overholdelse og gjennomføring av alle sikkerhetsmessige forskrifter og vilkår, samt pålegg gitt med hjemmel i denne lov.»

5.1.2 Strålevernloven

Formålet med strålevernloven er å forebygge skadelige virkninger av stråling på menneskers helse og bidra til vern av miljøet (§ 1). Loven kommer til anvendelse i alle sammenhenger som har med strålekilder å gjøre (§ 2). Brukt brensel er en strålekilde (§ 3, bokstav d). Paragraf 5 sier at «Enhver tilvirkning, import, eksport, transport, overdragelse, besittelse, installasjon, bruk, håndtering og avfallsdisponering av strålekilder skal være forsvarlig, slik at det ikke oppstår risiko for dem som utøver virksomheten, andre personer eller miljøet. Også menneskelig aktivitet som medfører forhøyet naturlig ioniserende stråling fra omgivelsene, skal være forsvarlig. Ved vurdering av forsvarligheten skal det blant annet legges vekt på om fordelene ved virksomheten overstiger de risiki som strålingen kan medføre, og om virksomheten er innrettet slik at akutt helseskade unngås og risikoen for senskade holdes så lav som med rimelighet kan oppnås. Stråledoser skal ikke overstige fastsatte grenser.»

Paragraf 18 i strålevernloven gir DSA rett til å føre tilsyn og føre nødvendige enkeltvedtak. Tilsynsmyndigheten skal gis fri adgang til å foreta tilsyn og gis de opplysningene som er nødvendige.

Paragraf 19 gir DSA myndighet til å kreve retting eller stans av virksomhet, samt beslaglegge stoffer eller utstyr, dersom det foreligger vesentlig helsefare.

5.1.3 Forurensningsloven

Forurensningslovens § 11 pålegger virksomheter hvor det kan oppstå forurensning å søke om tillatelse. § 4 i forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall sier at DSA kan gi tillatelse etter forurensningsloven § 11, og at DSA kan sette vilkår for tillatelsen iht. § 16 i forurensningsloven. § 5 i forskriften sier at radioaktivt avfall skal håndteres i samsvar med avfallsforskriftens kapittel 16.

Hensikten med kapittel 16 i avfallsforskriften er «å sikre at radioaktivt avfall tas hånd om på en slik måte at det ikke skaper forurensning eller skade på mennesker eller dyr, eller fare for dette, og å bidra til et hensiktsmessig og forsvarlig system for håndtering av radioaktivt avfall» (§ 1). Paragraf 16-4, første ledd sier at radioaktivt avfall skal håndteres forsvarlig. § 16-5 sier at den som håndterer radioaktivt avfall må ha tillatelse til det. § 16-13 sier at DSA eller den Klima- og miljødepartementet bemyndiger fører tilsyn med radioaktivt avfall.

Paragraf 16-11 i avfallsforskriften er den delen av lovverket som har mest direkte og konkret anvendelighet for temaet for denne utredningen. De første leddene av paragrafen gjengis derfor i sin helhet her:

§ 16-11. Eksport av radioaktivt avfall

Eksport av radioaktivt avfall krever tillatelse fra Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet. Det kan fastsettes vilkår for slik tillatelse.

Tillatelse til eksport av radioaktivt avfall kan bare gis dersom

- a) det vurderes som nødvendig for å sikre en miljømessig forsvarlig behandling av det radioaktive avfallet ut fra en samlet vurdering av tilgjengelige behandlingsløsninger i Norge, avfallets beskaffenhet og miljørisiko ved ulike alternativer*
- b) myndighetene i import-, og eventuelt transittland, har gitt tillatelse til mottak av avfallet og eventuelt til transitt*
- c) det kan dokumenteres at avfallet vil bli tatt miljømessig forsvarlig hånd om på bestemmelsesstedet*
- d) eksportøren påtar seg fullt ansvar fram til avfallet er overtatt av den som skal ta hånd om det på bestemmelsesstedet.*

Tillatelse kan ikke gis til eksport av radioaktivt avfall til

- a) områder sør for 60 grader sørlig bredde*
- b) stat som har forbud mot import av radioaktivt avfall i sin lovgivning*
- c) stat som ikke er part i IAEA Felleskonvensjon om sikkerhet ved håndtering av brukt kjernebrensel og sikkerhet ved håndtering av radioaktivt avfall.*

Eksportøren skal gi Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet melding når sluttbehandling er gjennomført på bestemmelsesstedet.

Viser det seg at avfallet likevel ikke blir miljømessig forsvarlig håndtert på bestemmelsesstedet, skal eksportøren ta avfallet tilbake.

Kort oppsummert sier atomenergiloven, strålevernloven og forurensningsloven at brukt brensel må behandles og oppbevares på en trygg måte og i henhold til tillatelser fra DSA. Alle tiltak må derfor være forhåndsgodkjent av DSA. I tillegg omfattes brukt brensel av lov om kontroll med eksport av strategiske varer, tjenester og teknologi mv. (eksportkontrollloven), hvilket vil si at å sende brukt brensel til behandling i utlandet krever eksportlisens fra Utenriksdepartementet.

5.2 Internasjonale forpliktelser og retningslinjer

Norge har inngått en rekke internasjonale forpliktelser om hvordan radioaktivt avfall skal håndteres. Noen av disse er juridisk forpliktende i form av en konvensjon. Andre er politiske avtaler eller politiske forpliktelser mot en adferdskodeks. Noen av de internasjonale forpliktelsene og standardene er innlemmet i lover og forskrifter, mens andre vil legges til grunn for vurdering av søknader om konsesjoner og tillatelser. Disse er grundig gjennomgått i NOU 2011:2, kapittel 6.2 [23]. Norges forpliktelser gjelder uavhengig av mengde brukt norsk reaktor Brensel og andre typer radioaktivt avfall.

I denne utredningen legger vi til grunn at retningslinjer fra IAEA er ufravikelige grensebetingelser, fordi vi antar at DSA vil legge retningslinjene til grunn når de vurderer fremtidige konsesjonssøknader for et nytt oppbevaringsanlegg.

Et særlig viktig dokument i sammenheng med denne utredningen er IAEAs retningslinjer for hvordan radioaktivt avfall kan deponeres: «Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements, No SSR-5» [24]. Krav nummer 8 i disse retningslinjene sier blant annet at:

“The engineered barriers, including the waste form and packaging, shall be designed, and the host environment shall be selected, so as to provide containment of the radionuclides associated with the waste. Containment shall be provided until radioactive decay has significantly reduced the hazard posed by the waste. In addition, in the case of heat generating waste, containment shall be provided while the waste is still producing heat energy in amounts that could adversely affect the performance of the disposal system.”

I punkt 3.40 i SSR-5 [24], angir IAEA hvor lenge avfallet og inneslutningen skal kunne hindre migrasjon av radionuklider:

“The containment of the radionuclides in the waste form and the packaging over a defined period has to ensure that the majority of shorter lived radionuclides decay in situ. For low level waste, such periods would be of the order of several hundred years; for high level waste the period would be several thousands of years.”

Brukt brensel er høyradioaktivt avfall. Høyradioaktivt avfall og beholderen det er pakket inn i må altså kunne hindre migrasjon av radionuklider i flere tusen år.

Formuleringen «including the waste form and packaging» kan tolkes på to måter. En konservativ tolkning er å si at avfallet og innpakningen hver for seg skal ha egenskaper som gjør det i stand til å hindre at radionuklider frigjøres til omgivelsene. En liberal tolkning er å si at kombinasjonen av avfallet og innpakningen til sammen skal kunne holde på radioaktiviteten. Den konservative tolkningen forbyr deponering av metallisk uran, fordi metallisk uran ikke er kjemisk stabilt dersom det kommer i kontakt med grunnvann i et deponi. Dette er beskrevet i flere vitenskapelige rapporter [13, 23, 25, 26], bl.a. av britiske Radioactive Waste Management (RWM). RWMs beregninger har vist at brensel av metallisk

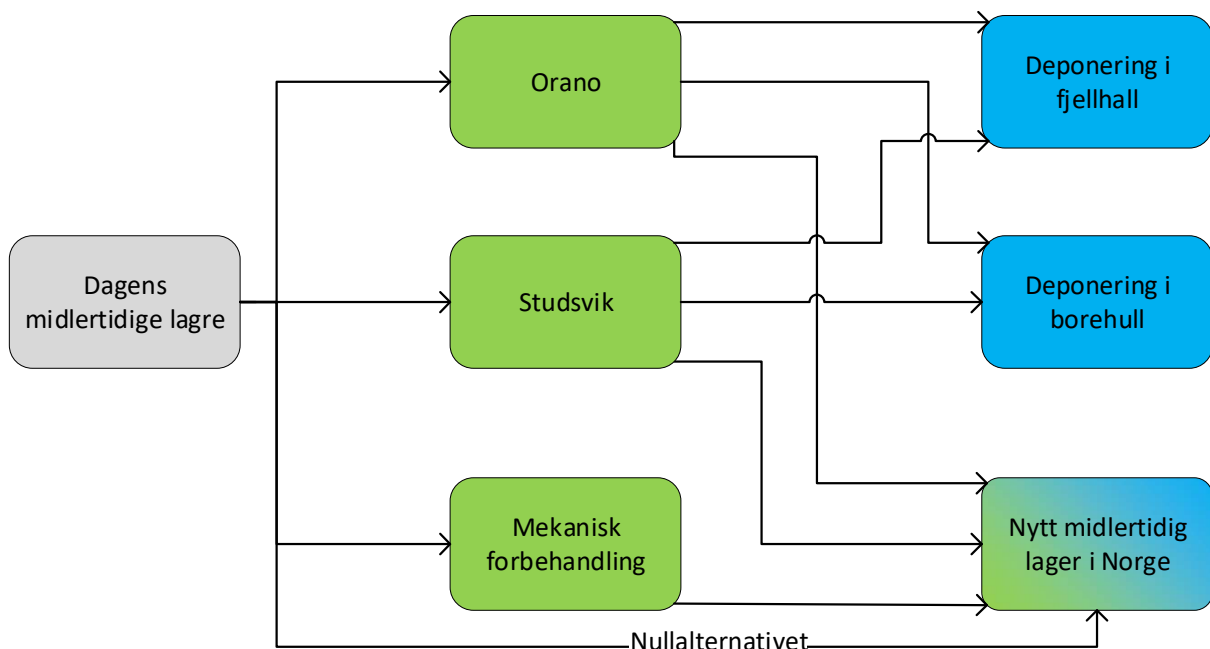
uran kan korrodere fullstendig i løpet av mellom noen tiår og noen århundrer [26], dersom det kommer i kontakt med grunnvann. Den liberale tolkningen kan tillate deponering av metallisk uran, dersom man bruker en tilstrekkelig stabil innkapsling.

6 Mulighetsstudie

Mulighetsstudien skal identifisere et mulighetsrom som kan bidra til å løse problemet en står overfor. Det er viktig at mulighetsstudien favner vidt, slik at alle muligheter defineres, og at man ikke låser seg til tidligere løsninger. Det skal vurderes ulike tilnærminger, virkemidler og tiltak som alene eller i en kombinasjon kan løse problemet en står overfor.

Når mulighetsrommet er identifisert, vurderes det i hvilken grad de ulike konseptuelle løsningene kan realisere mål innenfor de gitte rammebetingelsene. Dette danner grunnlag for en grovsiling av tiltak med tilhørende dokumentasjon, og definerer ulike konsepter som alternative løsninger som videreføres til alternativanalysen.

En helhetlig, langsiktig løsning på problemet som utredes i denne utredningen og minst én kommende utredning vil omfatte både midlertidig lagring, behandling og deponering (se Figur 3). Derfor gjør vi innledningsvis rede for disse begrepene. Vedlegg 1 viser en mer detaljert oversikt for hver type brensel.



Figur 3: Skisse over sammenhengen mellom hovedkonseptene for behandling og oppbevaring av brukt brensel. De grønne rutene er behandlingskonsepter. De er, sammen med nullalternativet, temaet for denne utredningen. Deponeringsalternativer (blått) er tema for en kommende KVVU. Midlertidig lagring må beskrives i begge utredningene.

6.1 Oppbevaring av brukt brensel

Det finnes to typer oppbevaringsløsninger for brukt brensel og annet radioaktivt avfall: midlertidige lagre og deponier.

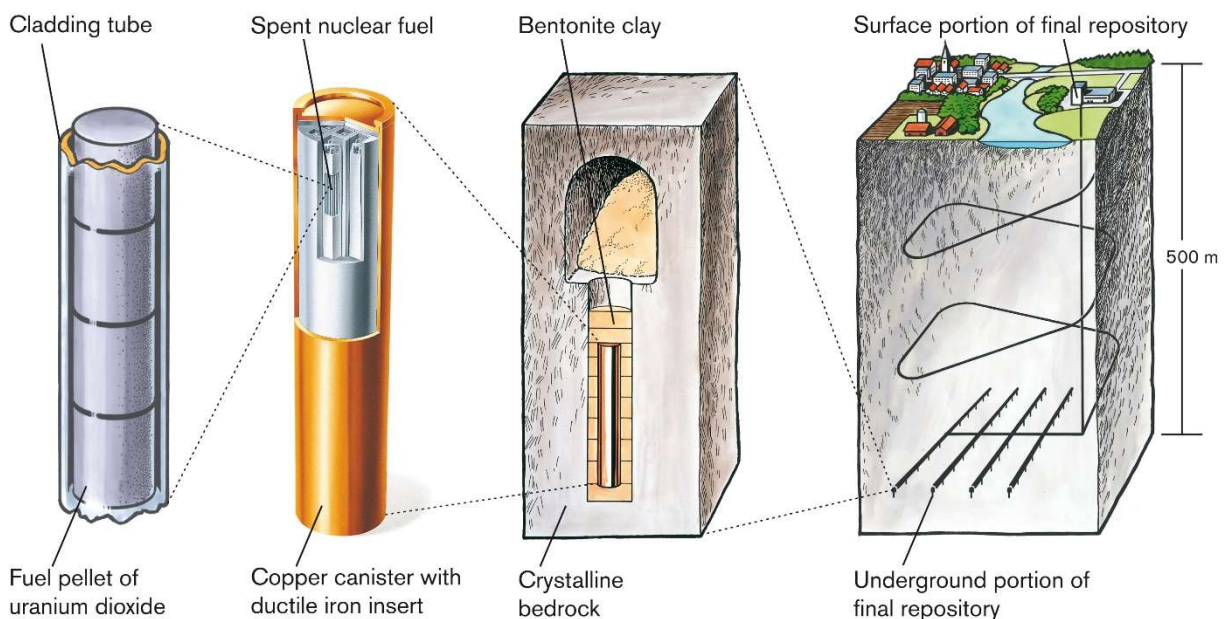
6.1.1 Midlertidig lager

Midlertidige lagre har normalt en levetid på rundt 50-100 år. Det finnes mange midlertidige lagre for brukt brensel i verden. Felles for dem alle er at de krever vakt og vedlikehold, mens et deponi ikke trenger overvåking etter at det har blitt lukket. Dagens midlertidige lagre på IFE ble bygget på 1960 tallet og anses å ha en begrenset levetid framover. Dette betyr at fortsatt lagring i en periode av flere tiår vil kreve en eller flere nye anlegg for midlertidig lagring i Norge.

Det er flere typer anlegg for midlertidig lagring, inkludert midlertidig lagring i underjordiske stålrør (som i dagens anlegg på Kjeller) og betonghvelv. Den mest hensiktsmessige lagringstypen for norsk brukt brensel er transportable lagringsbeholdere (*dual purpose storage and transport casks*).

6.1.2 Deponering i fjellhaller

Når brukt brensel eller annet høyradioaktivt avfall deponeres, må man kunne sannsynliggjøre at risikoen for mennesker og miljø er under et akseptabelt nivå i flere hundre tusen år. Det vil si at deponiet må fungere til tross for blant annet istider, jordskjelv, sivilisasjonens undergang og fremveksten av en ny og primitiv menneskekultur. Flere metoder har blitt utforsket for å få til dette. Den mest utviklede løsningen er i dag å pakke høyradioaktivt avfall inn i stabile beholdere som omslutes av tørr leire i fjellhaller 4-500 meter under bakken. I resten av rapporten omtales dette deponikonseptet som dyp fjellhall.



Figur 4: Illustrasjon av KBS-3, et svensk-finsk konsept for deponering av brukt brensel i fjellhaller. Kunstner: Jan Rojmar Trykket med tillatelse fra SKB.

Deponikonsepter for høyradioaktivt avfall må bestå av flere uavhengige barrierer som hindrer at radioaktivitet frigjøres til omgivelsene. KBS-3 (kärnbränslesäkerhet versjon 3) er det deponikonseptet som er nærmest å realiseres (Figur 4). Det er et deponi av denne typen som er under bygging i Finland, og som avventer politisk behandling i Sverige. Sikkerhetstiltakene i KBS-3 er [27]:

- Det brukte brenselet deponeres 400-500 meter under bakken. Slik beskyttes det fra menneskelige og naturlige prosesser ved jordoverflaten.
- Deponiet anlegges i stabilt grunnfjell hvor det ikke finnes noen naturressurser av økonomisk interesse. Slik reduseres sannsynligheten for at fremtidige mennesker borer eller graver seg inn i deponiet
- Flere passive og gjensidig uavhengige barrierer hindrer at radioaktivitet frigjøres til omgivelsene. At barrierene er passive betyr at fungerer uten noen form for driftsinnsats. Barrierene består av:
 - Brenselet, som hovedsakelig består av uranoksid, samt mindre mengder blandede oksider (Mixed Oxide Fuel, MOX). Dette er kjemisk stabilt brensel. Det betyr at dersom

grunnvann skulle komme i kontakt med brenselet, så vil radioaktiviteten i brenselet frigjøres til vannet svært sakte.

- Beholderen, som består av et 5 cm tykt kobberskall med en foring av støpejern. Kobber brukes fordi det korroderer svært sakte. Foringen gir beholderen mekanisk styrke, bl.a. for at beholderen skal kunne stå imot trykket som finnes så dypt i fjellet (I tillegg oppstår det et ekstra sterkt trykk på beholderen når leira den er omsluttet av tar til seg grunnvann og dermed sveller som en svamp). Foringen hindrer også at brenselet beveger på seg inni kapselen.
- Buffermateriale, som er en naturlig leire av typen bentonitt. Beholderen omsluttet av bentonitt i deponiet. Bentonittens hovedfunksjon er å hindre flyten av grunnvann rundt beholderne. I tillegg skal den absorbere støt fra jordskjelv (selv om deponiet lokaliseres i et område med lav risiko for jordskjelv, jordskjelv er svakere på 4-500 meters dyp enn ved overflaten og beholderne plasseres utenom påviste forkastninger i fjellet). Bentonitt har også evnen til å absorbere mange typer radionuklider.
- Grunnfjellet, som har lav vannføringsevne og reduserende (ikke oksiderende) grunnvannskjemi, hvilket gjør at brenselet og kapslingen korroderer sakte og at flere typer radionuklider er lite løselige i grunnvannet. I tillegg har grunnvannet nok salt til å sikre at bentonitten ikke løser seg opp, hvilket den gjør i ferskvann.

KBS-3 er resultatet av et svært omfattende utviklingsarbeid som i hovedsak har blitt utført av Svensk kärnbränslehandtering (SKB) siden 70-tallet [28]. Utviklingen kostet rundt 35 milliarder kroner. Finland besluttet å anvende samme konsept, og begrenset derfor utviklingskostnadene sine til rundt 1.5 milliarder [29]. Dersom Norge skulle velge å bygge en fjellhall for høyradioaktivt avfall, bør man derfor vurdere å ta utgangspunkt i KBS-3.

6.1.3 Internasjonalt deponi

Norge har svært lite høyradioaktivt avfall sammenlignet med land som har kommersiell kjernekraft. For eksempel så dimensjoneres det svenske deponiet for å ta imot 12 000 tonn brukt brensel [29]. På grunn av stordriftsfordeler, er kostnadene per avfallsmengde større for et lite deponi enn for et stort. Derfor hadde det vært kostnadseffektivt om Norge samarbeidet med andre land om å deponere høyradioaktivt avfall i et felles deponi. Både finsk og svensk lov forbyr deponering av utenlands brukt brensel [30, 31], så å sende det norske brenselet dit er ikke et alternativ per dags dato.

NND er medlem av European Repository Development Organisation Working Group (ERDO-WG). Det er et samarbeidsforum for land med relativt små mengder radioaktivt avfall. En av målsetningene med ERDO-WG er å legge til rette for etableringen av et fellesnasjonalt deponi for radioaktivt avfall, inkludert brukt brensel. Interessekonflikter knyttet til lokalisering anses som det største hinderet for å lykkes med det.

Dersom et internasjonalt deponi skal utvikles for å ta imot brukt brensel av metallisk uran, så vil det være ekstra utfordrende, fordi man ville ha måttet overbevise medlemmene i prosjektet og tilsynsmyndighetene i deres respektive land om at metallisk uran kan deponeres på en trygg måte. Derfor øker kjemisk behandling av det norske brenselet sannsynligheten for å lykkes med å etablere et fellesnasjonalt deponi, men verdien av den effekten må ikke overdrives, fordi per dags dato er det ingen tegn på at et fellesnasjonalt deponi kan bli en realitet i nærmeste fremtid.

Et internasjonalt deponi kan enten bygges som et fjellhalldeponi eller et borehullsdeponi.

6.1.4 Borehull

Deponering av radioaktivt avfall i borehull er et mulig alternativ til fjellhalldeponi. Borehull har i de siste årene fått stadig mer oppmerksomhet i det internasjonale fagmiljøet for deponering av radioaktivt avfall [32, 33, 34, 35, 36]. Det skyldes blant annet at kostnadene forventes å være vesentlig lavere og at det kan være enklere å finne egnede geologiske forhold enn for fjellhalldeponi.

Det moderne borehullskonseptet går ut på å senke kapsler med avfall ned i borehull for deretter å lukke hullet ved hjelp av flere typer forseglinger. Dybden på hullet vil være avhengig av lokale geologiske forhold, mengden avfall som skal deponeres og hvor dypt det er mulig å bore med tilstrekkelig diameter. Et hull med tilstrekkelig diameter og dybde på 1000-3000 meter er både oppnåelig med eksisterende boreteknologi og svært sannsynlig tilstrekkelig av sikkerhetshensyn. I KS1 (2016) ble borehullsdeponi vurdert som et lovende konsept som kan være både billigere enn et fjellhallanlegg og medføre mindre miljøinngrep. De vurderte imidlertid borehullskonseptet som for umodent til at Norge på det daværende tidspunkt burde satse på å utvikle det. På side 91 i rapporten står det:

«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.»

Siden 2016, har borehullskonseptet blitt videreutviklet, og det er nå flere land som driver aktiv forskning og utvikling innen temaet. Blant annet deltar NND i to internasjonale forskningsprosjekter om status, utvikling og potensialet for borehullsdeponi. 17 andre land deltar, inkludert USA, Kina, Frankrike og Tyskland, som alle har kommersiell kjernekraft og derfor flere tusen tonn brukt brensel.

Borehullsdeponi er fortsatt et mindre modent konsept enn det svensk-finske fjellhallkonseptet KBS-3, men Norge er ikke alene om å utrede borehullsdeponi. Generiske lisensbetingelser [34] og sikkerhetsrapporter [36, 37] har blitt utarbeidet, samt designkonsepter for beholdere og borehull [35]. Et viktig neste steg vil være å etablere et fullskala-testanlegg [38].

6.2 Bruk av dokumentasjon fra tidligere utredninger

Det har tidligere blitt gjennomført til dels omfattende prosesser for å identifisere mulighetsrommet for behandling og oppbevaring av norsk brukt reaktorbrensel, med tilhørende grovsiling av tiltak og tilhørende dokumentasjon. Både KVV (2015) [1] og tilhørende KS1 (2016) [2] har gått grundig igjennom dette og brukes som referanse i det videre arbeidet med mulighetsstudien.

Tiltak som ble gjenstand for grovsiling i KVV kapittel 4 (2015) [1] og KS1 kapittel 6 (2016) [2], vil ikke presenteres på nytt i dette mulighetsstudiet. I den grad det har tilkommet ny informasjon som endrer konklusjonene gjort gjennom grovsilingene gjort i KVV (2015) og KS1 (2016), så vil dette gjøres rede for gjennom mulighetsstudiet presentert i dette kapitlet.

6.3 Ny kunnskap som utvider mulighetsstudiene i KVV (2015) og KS1 (2016)

Her gjennomgås kort endringene i mulighetsrommet fra KVV (2015) [1] og KS1 (2016) [2], samt begrunnelsen for dette. Tiltak som utvider mulighetsrommet, vil få en mer utdypende gjennomgang i

de kommende delkapitlene. De vesentligste endringene i mulighetsrommet følger av ny kunnskap om oksidering som følge av en rapport NFD bestilte i kjølvannet av KS1 (2016). Rapporten vurderer alternative behandlings- og oppbevaringsmetoder for brukt brensel og er utarbeidet av TUV-Nord (21).

Det er også utviklet mer kunnskap om dypdeponi og direkteponering uten forbehandling som er relevant for mulighetsrommet og som også følger av mandatet for denne konseptvalgutredningen som en mulighet som skal vurdere.

6.3.1 Deponering uten kjemisk forbehandling

Det har blitt skrevet flere utredninger av hva som bør gjøres med det brukte brenselet fra IFEs reaktorer. Alle de tidligere norske utredningene har konkludert med at metallisk uran ikke kan deponeres, men i løpet av de siste årene har dette blitt noe mer nyansert. I dette delkapittelet gis en kortfattet kronologisk beskrivelse av de tidligere utredningene, med vekt på deres konklusjoner når gjelder behovet for behandling.

Berganutvalget [12] leverte i 2001 en norsk offentlig utredning om strategier for sluttlagring av brukt brensel, hvor de blant annet skrev:

«For å oppnå den meget langsiktige inneslutning og isolering av radioaktiviteten som deponering krever, forutsettes det at radioaktiviteten er bundet i brenselet. Metallisk uran egner seg dermed ikke for direkte deponering.»

Berganutvalget anbefalte at det ble bygget et nytt mellomlager som skulle sikre trygg oppbevaring av brenselet i 40 år. Samtidig skulle arbeidet med å etablere et småskaladeponi basert på internasjonale erfaringer igangsettes, og man skulle bruke erfaring fra oljebransjen til å utvikle konseptet med deponering i borehull. Berganutvalget ble fulgt av Fase 1-utvalget, som i 2004 fikk i oppdrag fra Nærings- og handelsdepartementet å kartlegge behovet for et nytt mellomlager for brukt brensel. De skrev i sin innledning [39] at:

«Det forskes internasjonalt på løsninger for å stabilisere metallisk uran for deponering, men denne type brensel egner seg ikke for deponering med bruk av de teknologier som forfølges av de fleste land pr. i dag.»

I 2010 konkluderte Teknisk utvalg i likhet med Berganutvalget med at metallisk uran er uegnet for deponering. De underbygget dette med en beskrivelse av urans kjemiske egenskaper [13]. Ved å henvise til en omfattende rapport fra anerkjente Argonne National Laboratory [25] kunne de dokumentere at korrosjon av metallisk uran er en rask og varmeutviklende reaksjon. Konsekvensene av det i et deponi kan være at dersom vann kommer inn i beholderen gjennom for eksempel en sprekk, så vil radioaktiviteten løse seg opp i vannet og dermed kunne bevege seg opp mot jordoverflaten. Varmeutvikling kan være problematisk i et deponi for brukt brensel, blant annet fordi høy temperatur kan skade bentonittleiren som ofte omslutter avfallskapslene. Kapselen, bentonittleira og grunnfjellet kan skades av trykket fra hydrogengassen som produseres av korrosjon. I tillegg kan varme og trykk fungere som drivkrefter for transport (adveksjon) av radioaktivitet. Teknisk utvalgs fraråding av direkteponering av metallisk uran var i tråd med en rapport fra britiske NIREX (forløperen til dagens Nuclear Decommissioning Authority, NDA), som presenterte akseptkriterier for et fremtidig deponi i Storbritannia, og som var tydelig på at verken metallisk brensel eller pyroforisk materiale ville bli tillatt deponert [40].

Teknisk utvalg beskrev også brann- og eksplosjonsfaren knyttet til metallisk uran og uranhydrid. De henviste blant annet til en rapport som skildrer hundrevis av branner og eksplosjoner som resultat av håndtering av den typen materialer [18]. Slik viste de at å lagre, flytte på eller bearbeide metallisk uran er risikabelt, særlig hvis det er korrodert. Metallisk uran kan imidlertid ikke ta fyr eller eksplodere i et deponi hundrevis av meter under grunnvannsspeilet, etter at deponiet er lukket [41].

Teknisk utvalg frarådet deponering av det brukte brenselet uten kjemisk forbehandling eller mellomlagring med utsatt beslutning om permanent løsning. Derfor anbefalte de kommersiell kjemisk forbehandling i et utenlandsk anlegg, og vurderte det som det overlegent beste alternativet. På dette tidspunktet (2010) var repressering det eneste tilgjengelige alternativet for kommersiell kjemisk forbehandling.

Basert på Teknisk utvalg sin rapport, leverte Fase 2-utvalget (også kjent som Strandenutvalget) i 2011 en rapport som blant annet anbefalte at brukt brensel av metallisk uran og uranoksid i aluminiumskapsling ble sendt til repressering [23]. I 2015 gjennomførte DNV GL KVV (2015), der de anbefalte repressering av alt brukt brensel. DNV GLs rapport ble kvalitetssikret av Atkins & Oslo Economics i 2016 (KS1 (2016)). Atkins & Oslo Economics anbefalte at brensel av metallisk uran eller uranoksid i aluminiumskapsling ble sendt til repressering [2], og at alternative behandlingsmetoder ble undersøkt nærmere. Repressering var på det tidspunktet fortsatt den eneste kommersielt tilgjengelige metoden for å behandle brenselet. NFD bestilte deretter en rapport om alternative behandlings- og oppbevaringsmetoder for brukt brensel fra selskapet TUV-Nord [3]. Den rapporten utløste et samarbeid mellom Studsvik og IFE for å utvikle konseptet oksidering av metallisk uran.

Parallelt med IFE og Studsviks samarbeid, har det blitt skrevet to britiske rapporter som blant annet drøfter muligheten for å deponere metallisk uran [4, 26]. Radioactive Waste Management (RWM) viste at selv om en brenselstav med 3 centimeter diameter kan korrodere fullstendig i løpet av mindre enn noen århundrer (som er svært kort tid for deponier for brukt brensel), så produserer ikke reaksjonen nok varme for å føre til noen vesentlig temperaturøkning [26]. De viste også at mye av radioaktiviteten i brenselet vil felle ut i grunnvannet, hvilket vil fungere som en barriere mot utslipp til biosfæren [4, 26]. Disse to rapportene tar imidlertid ikke hensyn til akseptkriteriene diskutert ovenfor angående deponering av metallisk brensel og pyroforiske materialer.

Den andre britiske rapporten [4] ble skrevet av Quintessa, på oppdrag fra Statens strålevern (nå DSA). Quintessa simulerte radioaktivitetsutslippene ved ulike typer deponikonsepter. Alle deponikonseptene var av typen fjellhall, ikke borehull. De ulike deponikonseptene bestod av ulike kombinasjoner av materiale for avfallet (metallisk uran; uranoksid; brensel som har blitt løst opp og blandet med sement; vitrifisert avfall), innkapsling (kobber; rustfritt stål; betong) og etterfyllingsmateriale (bentonitt eller sement). En av konklusjonene var at vitrifisering eller oksidering av metallisk uran ikke førte til en vesentlig reduksjon av de langsiktige utslippene, og at flere av deponikonseptene kunne oppfylle kravene til maksimale langsiktige utslippsrater (Utslippsgrensene for et deponi vil fastsettes i en eventuell konsesjon etter atomenergiloven eller tillatelse iht. forurensningsloven. Strålevernlovens § 6, fjerde ledd setter en generisk utslippsgrense for virksomheter på 0.25 mSv (millisievert) pr. år).

Både RWM og Quintessa sine rapporter sår tvil om nødvendigheten av kjemisk forbehandling av norsk brukt brensel. I tillegg har DSA skrevet et notat som beskriver foreløpige britiske og amerikanske planer om å deponere brukt brensel av metallisk uran [42]. I notatet henviser DSA blant annet til RWMs sikkerhetsanalyser, som har vist at deponering av metallisk uran muligens kan være trygt. DSA

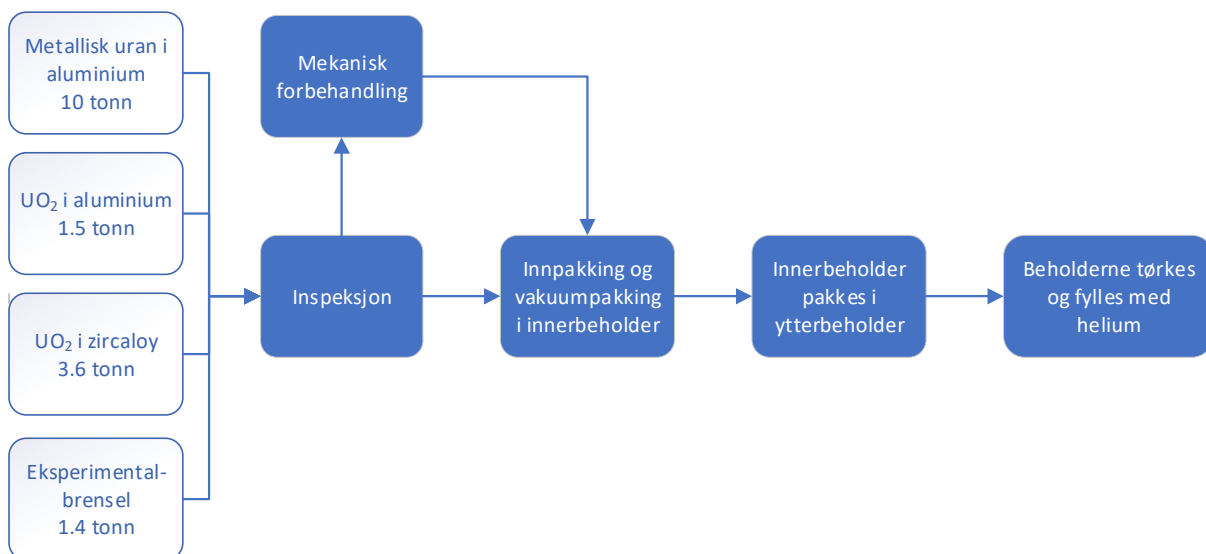
fremhever at Storbritannia har mer brukt brensel av metallisk uran enn Norge, og at det britiske brukte brenselet har høyere utbrenning og derfor er mer radioaktivt enn det norske. Likevel finnes det tungtveiende argumenter for å gjennomføre kjemisk stabilisering. Dette drøftes i kapittel 7.

6.3.2 Eksport uten retur er ikke en mulighet

En av anbefalingene fra KVV (2015) og KS1 (2016) var at norske myndigheter burde vurdere å ta kontakt med amerikanske myndigheter for å se om det kan være mulig å få til en avtale der USA kan motta norsk brukt brensel. USA og Russland har hatt programmer for retur av brukt reaktorbrensel (*The United States of America Foreign Research Reactor Spent Nuclear Fuel (FRRSNF) acceptance programme* og *The Russian Research Reactor Fuel Return (RRRFR) programme*). Hovedmålet med returprogrammene var å eliminere beholdninger av høyanriket uran ved å returnere brukt reaktorbrensel til landet der brenselet opprinnelig ble anriket. Det norske brenselet faller ikke under disse programmene. Det er ikke andre kjente muligheter for å selge eller eksportere brukt brensel, da de alle fleste land har forbud mot import av radioaktivt avfall.

6.4 Mekanisk forbehandling (direktedeponering)

Mekanisk forbehandling omfatter prosesser som ikke endrer brenselets iboende kjemiske egenskaper. Dette konseptet har i en del sammenhenger [42] blitt omtalt som «direktedeponering», fordi det impliserer at brenselet vil kunne deponeres uten kjemisk forbehandling. I dette delkapittelet gjør vi kort rede for de ulike trinnene i prosessen som mekanisk behandling omfatter. Prosessen er lik Studsviks prosess for behandling av kjemisk stabilt brensel (UO_2 i zircaloykapsling og eksperimentalbrensel), se kapittel 6.5.2.



Figur 5: Flytskjema for konseptet mekanisk behandling. Mekanisk behandling kan f.eks. omfatte fjerning av grafitt fra JEEP-I-brensel. JEEP-I-brenselet utgjør 3 av de 10 tonnene metallisk uran. De gjenværende 7 tonnene er fra førsteladningen i Haldenreaktoren, som ikke har grafittendestykker.

Mekanisk behandling kan blant annet omfatte å kappe av JEEP-I-brenselets endestykker, som består av grafitt. Grafitt bør fjernes fordi oppbevaring av grafitt som har blitt bestrålt av nøytroner i en atomreaktor kan være risikabelt [43]. Når grafitt bestråles med nøytroner, kan det opparbeides såkalt Wigner-energi som senere kan frigjøres i form av varme. Slik varmeutvikling kan ha skadelige virkninger i et midlertidig lager eller deponi, særlig når brenselet består av brennbart metallisk uran. Det er likevel

ikke utelukket at man kan videreføre midlertidig lagring uten å fjerne grafitt. Det kommer an på utformingen og konsesjonsbetingelsene til lageret.

Etter inspeksjon og eventuell mekanisk behandling, plasseres brenselet i innerbeholdere. Innerbeholderen kan for eksempel være et rør av rustfritt stål, med en diameter på omtrent 10 cm. Da vil alle brenselementene få plass (JEEP-II-brenselet har de bredeste elementene, med 9 cm diameter). Lengden på innerbeholderen kan enten være standardisert, eller tilpasset de ulike brenselementene. De lengste brenselementene er fra JEEP-I og Haldenreaktorens førsteladning. De er 2.8 meter lange. Før innerbeholderne lukkes, vakuumsørkes brenselet og innerbeholderen fylles med inert gass (helium), for på den måten å minimere fremtidig korrosjon.

Mekanisk forbehandling er tilstrekkelig forberedelse for deponering av kjemisk stabilt brensel, dvs. de 3.6 tonnene med driftsbrensel fra Haldenreaktoren og 1.4 tonnene med eksperimentalbrensel. Dersom Studsvik ble valgt som leverandør, så hadde disse brenselstypene kun blitt gitt mekanisk forbehandling, fordi de allerede er kjemisk stabile, slik at oksidering og utskifting av aluminiumskapsling er både unødvendige og umulige for akkurat disse typene brensel.

6.5 Kjemisk kondisjonering (stabilisering) av brukt brensel

Med stabilisering mener vi tiltak som kan omdanne brukt brensel som inneholder metallisk uran eller aluminium til materialer som i større grad er egnet for midlertidig lagring eller deponering. Dette er en litt annen definisjon enn den Atkins og Oslo Economics brukte i KS1 (2016) [2]. De definerte stabilisering som «tiltak som har som formål å sikre at avfallet blir i en stand som gjør det egnet for deponering». Årsaken til at vi bruker en annen definisjon er at vi ønsker å understreke at å stabilisere er minst like viktig dersom man skulle velge midlertidig lagring i stedet for deponering. Det skyldes brann- og eksplosjonsfaren som alltid vil være til stede så lenge metallisk uran – og eventuell uranhydrid som har blitt dannet som følge av korrosjon – oppbevares i eller i nærheten av luft.

Stabilisering kan enten gjennomføres hos Orano i La Hague i Frankrike, eller hos Studsvik i Sverige (Figur 6).



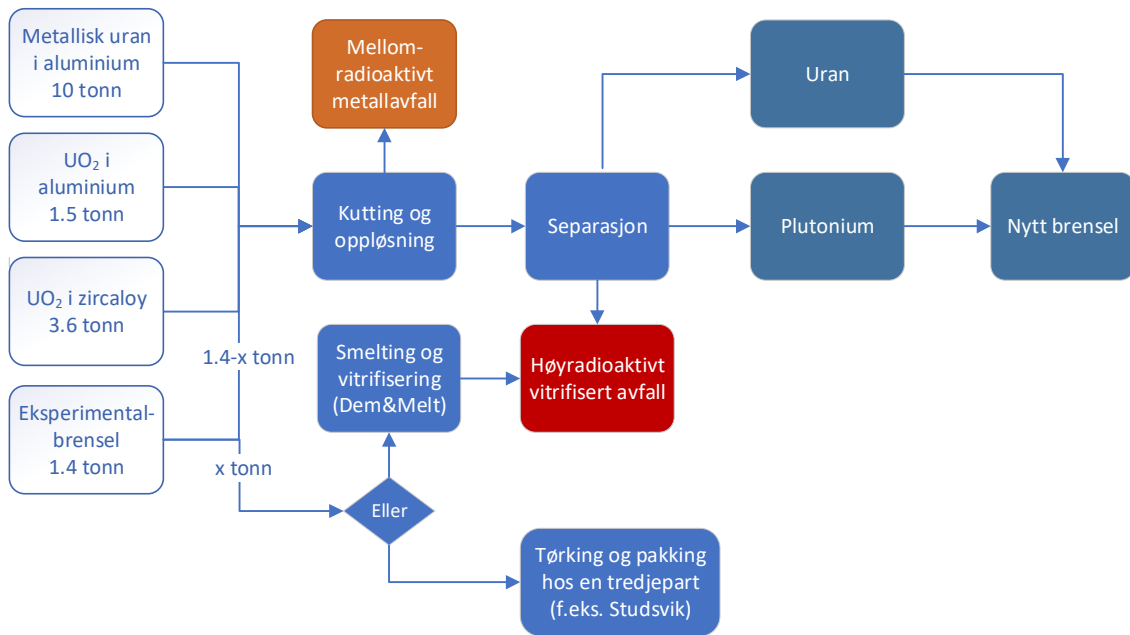
Figur 6: Kart som viser hvor La Hague (Orano) og Studsvik er. Fra Google Maps.

6.5.1 Behandling hos Orano (hovedsakelig repressering)

Repressering er Oranos primære behandlingsmetode. Kapittel 6.5.1.1 beskriver vi repressering. I delkapittel 6.5.1.2 beskriver vi en supplerende behandlingsmetode som Orano er i ferd med å utvikle.

6.5.1.1 Repressering

Norsk brukt brensel består av metallisk uran, uranoksid, plutoniumoksid, eller thoriumoksid som er omsluttet av metallisk kapsling. I tillegg inneholder brenselet andre radioaktive isotoper (radionuklider) som oppstod da brenselet var i bruk i reaktorene.



Figur 7: Flytskjema for reprosessering hos Orano. En andel av eksperimentalbrenselet kan ikke reprosesserer. Det finnes to alternative metoder for å forberede dette brenselet for midlertidig lagring eller deponering. Den ene er smelting og vitrifiering (Dem&Melt) hos Orano. Dette er en metode som er under utvikling hos Orano. Den andre metoden er tørking og pakking. Det kan for eksempel gjøres hos Studsvik, på samme måte som vist for eksperimentalbrensel i Figur 8.

Det første steget i reprosessering er at brukt brensel kappes opp i biter og legges i salpetersyre (se Figur 7). Da løses uran, uranoksid og plutoniumoksid opp. Thoriumoksid løses ikke opp uten tilsetning av flussyre. Flussyre er svært korrosivt. Dersom flussyre tilsettes, risikerer man derfor å forårsake ødeleggende korrosjon av reprosesseringsanlegget. Derfor kan ikke thoriumbrensel reprosesserer hos Orano. Noen typer kapslingsmateriale, for eksempel aluminium, løses også opp. Andre typer kapsling er uoppløselige; bitene forblir intakte og sorteres ut mekanisk for så å vaskes og komprimeres i avfallsbeholdere. Kapslingsdelene klassifiseres i Frankrike som langlivet mellomradioaktivt avfall.

Væsken med uran, plutonium og øvrige radionuklider sendes videre til neste steg i prosessen, som er separasjon. Dette er en kjemisk prosess som blant annet går ut på at syreløsningen blandes med et organisk løsemiddel. Løsemiddelet inneholder kjemikalier som i forskjellig grad binder seg til uran, plutonium og øvrige radionuklider, som således skilles fra hverandre. Uran og plutonium kan brukes til å fremstille nytt reaktorbrensel. De øvrige radionuklidene blandes med smeltet glass som fylles i beholdere av rustfritt stål. Det resulterende produktet kalles vitrifisert avfall og er høyradioaktivt.

Norge kan velge mellom to typer returavfall fra reprosessering: komprimerte metallbiter fra brenselkapsling eller vitrifisert avfall. De komprimerte metallbitene er langlivet mellomradioaktivt avfall, mens vitrifisert avfall er høyradioaktivt. Fransk lovgivning sier at Orano må returnere den samme radioaktivitetsmengden som de eventuelt mottar. Aktivitetskonsentrasjonen er høyere i vitrifisert avfall enn i det komprimerte metallavfallet. Norge kan derfor velge mellom å få i retur enten omtrent 8 beholdere med vitrifisert avfall eller omtrent 500 beholdere med langlivet mellomradioaktivt avfall. Antallet beholdere høyradioaktivt avfall ble oppjustert fra 5 til 8 kort tid før denne utredningen ble ferdigstilt. Både langlivet mellomradioaktivt metallavfall og høyradioaktivt vitrifisert avfall kommer i 134.5 cm lange sylindere med 44 cm ytre diameter og 0.5 cm tykke vegger.

I denne utredningen har vi lagt til grunn at uran og plutonium blir igjen i Frankrike, for der å bli brukt til fremstilling av nytt atombrensel for bruk i sivile kraftreaktorer. I Frankrike er repressert uran og plutonium definert som ressurs, ikke som avfall. En bilateral avtale mellom Norge og Frankrike vil sikre at norsk uran og plutonium kun brukes til sivil kraftproduksjon, ikke til militære formål. Det er også teknisk mulig at uran og plutonium returneres til Norge etter repressering. Det vil kreve strenge sikringstiltak i Norge, særlig for plutonium, fordi det kan brukes til å fremstille atomvåpen. Midlertidig lagring av disse materialene etter retur vil bl.a. kreve døgntkontinuerlig vaktthold og spesialdesignede lagre eller oppbevaringsbeholdere. Returnert uran og plutonium kan deponeres, så lenge de leveres i form av oksider eller et annet kjemisk stabilt materiale. Vi har ikke beregnet hva det vil koste å eventuelt behandle og lagre eller deponere returnert uran og plutonium. Dersom retur av uran og plutonium settes som et kriterium for å gjennomføre repressering, bør det utredes og en ny alternativanalyse gjennomføres.

For noe av brenselet er det nødvendig med mekanisk forbehandling før det represseres. Dette gjelder først og fremst JEEP-I-brensel, hvor grafittendestykkene må fjernes. Hvorvidt dette kan gjøres hos Orano eller om det må gjøres hos en tredjepart er under utredning. Når det gjelder andre brenselstyper (JEEP II, HBWR 3. og 4. lasting), er brenselstavene samlet i brenselementer. Noen av disse brenselementene må demonteres, slik at individuelle brenselstaver kan pakkes i transportbeholdere. Studsvik er et eksempel på en tredjepart som trolig kunne ha utført denne forbehandlingen. Dersom man velger å repressere brenselet, kan det derfor være nødvendig å sende noe av brenselet til forbehandling hos Studsvik og derfra videre til La Hague. Usikkerhetene knyttet til forbehandling før repressering er:

- Hvor mye forbehandling som er nødvendig
- Hvor forbehandlingen skal utføres
- Hva det koster å gjennomføre forbehandlingen

Disse usikkerhetene er tatt hensyn til i under estimeringen av kostnadene for repressering.

6.5.1.2 Alternativ behandlingsmetode hos Orano

Orano er i ferd med å utvikle en alternativ behandlingsmetode som muligens kan brukes til å behandle brensel som ikke kan represseres. Den går ut på å smelte brukt brensel sammen med glass i samme type beholder som avfall fra repressering (183-litersbeholdere). Det er uklart, men ikke utenkelig at dersom de små mengdene med brukt brensel som ikke kan represseres blandes sammen med nok glass, så kan det resulterende produktet klassifiseres som mellomradioaktivt, og dermed ekvivalent med mellomradioaktivt avfall fra repressering. Det er imidlertid flere usikkerheter som må tas hensyn til i denne sammenheng:

- A. Det er usikkert om Orano vil lykkes med å utvikle den alternative behandlingsprosessen for brensel som ikke kan represseres.
- B. Det er usikkert om den alternative behandlingsprosessen eventuelt kan brukes på alt det norske brukte brenselet som ikke kan represseres.
- C. Det er usikkert om prosessen produserer mellomradioaktivt eller høyradioaktivt avfall.

Oranos plan er å ha et fullskala-testanlegg i drift innen midten av 2021 [44, 45]. Orano har forklart at smelting og vitrifisering (Dem&Melt) kun er en potensiell behandlingsmetode for små mengder avfall. Vi anser den derfor som en mulig behandlingsmetode utelukkende for den lille andelen av brukt

brensel som ikke kan reposseseres – ikke som et alternativ til repossesering for de typene brensel som kan reposseseres.

Det brenselet som ikke kan reposseseres (mellom 0.1 og 0.5 av de 1.4 tonnene med eksperimentalbrensel), består av kjemisk stabilt materiale. Det kan derfor lagres eller deponeres, så lenge det vakuamtørkes og pakkes inn i egnede beholdere (se Figur 16 og 7). Dersom man velger å repossesere hovedmengden av brenselet, så er fordelene med å bruke Dem&Melt-metoden for det gjenværende brenselet at alt avfallet ville være pakket inn i samme type beholder. Det vil gjøre det enklere å lage prosedyrer og anskaffe utstyr for å håndtere avfallet, enn om man må håndtere flere ulike typer beholdere.

IFE og NND jobber med US Department of Energy på en tilsvarende løsning for de små mengde brensel med blandinger av høyanriket uran og thorium. Denne metoden innebærer å tynne ut det anrikede uranet i utarmet uran, og er derfor ikke egnet for andre typer brensel hvor slik fortykning er unødvendig.

6.5.2 Behandling hos Studsvik (hovedsakelig oksidering)

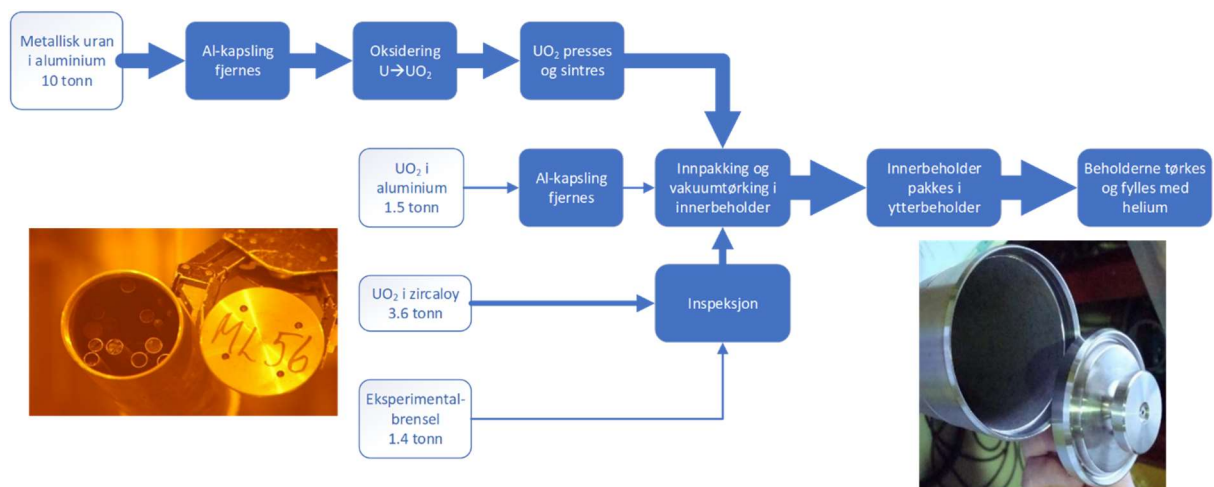
Studsvik kan, ved hjelp av en kombinasjon av behandlingsmetoder, forberede alt det brukte brenselet for deponering eller midlertidig lagring (Se Figur 8). Ulike typer brensel krever ulik type behandling. I dette delkapittelet beskriver vi de ulike behandlingsmetodene.

Studsviks behandlingsprosess for brensel av metallisk uran (10 tonn) begynner med at brenselet kappes i biter. Deretter fjernes aluminiumskapslingen på mekanisk vis. Det som da gjenstår, er en stav (JEEP-I-brensel) eller pellets (Haldenreaktorens førsteladning) av uranmetall. Uranmetallet varmes deretter opp i en ovn med kontrollert oksygeninnhold. Da reagerer uranet på overflaten med oksygenet i lufta og danner et lag av uranoksid. Etter hvert som oksidlaget blir tykt nok, skaller det av og danner et pulver. Dermed eksponeres ferskt uranmetall som i sin tur oksideres og skaller av inntil alt metallet har blitt til uranoksid. Oksidpulveret presses til pellets som sintres og pakkes i rør av karbonstål. Karbonstålrørene settes deretter i en ytterbeholder av rustfritt stål. Innholdet i ytterbeholderen vakuamtørkes før beholderen fylles med inert gass (helium). Ytterbeholderen er dimensjonert for å passe inn i det svenske deponikonseptet KBS-3. Uranoksid er kjemisk stabilt, og derfor egnet for deponering, i motsetning til metallisk uran.

Studsviks behandlingsprosess for brensel av uranoksid med aluminiumskapsling (1.5 tonn brensel fra JEEP II) bruker deler av prosessen for metallisk uranbrensel. Brenselstavene kappes i biter og kapslingen fjernes. Da gjenstår pellets av uranoksid. De pakkes i en innerbeholder av karbonstål. Innerbeholderen er en sylinder med ytre diameter 95 mm og 1.5 mm tykke vegger. Innerbeholderen settes deretter i en ytterbeholder av rustfritt stål som passer inn i KBS-3. Ytterbeholderen har en ytre diameter på 108 mm og 4 mm tykke vegger. Innholdet i ytterbeholderen vakuamtørkes før beholderen fylles med inert gass (helium).

De øvrige typene norsk brukt brensel (3.6 tonn UO_2 i zircaloy og 1.4 tonn eksperimentalbrensel) kan også klargjøres for langsiktig lagring eller deponering hos Studsvik. Dette brenselet er i utgangspunktet kjemisk stabilt, fordi det består av uranoksid eller oksider av thorium og plutonium, og har kapsling av zircaloy eller andre korrosjonsbestandige materialer. Denne typen brensel ville i så fall blitt inspisert, vakuamtørket og pakket i samme type ytterbeholder som tidligere nevnt. Ytterbeholderne vil deretter bli tørket og fylt med helium. Studsvik kan altså klargjøre alt det brukte brenselet for langsiktig

mellomlagring eller deponering. Sluttproduktet vil i så fall bestå av ytterbeholdere som inneholder kjemisk stabilt materiale i vakuomtørket heliumatmosfære. Dersom alt brenselet behandles hos Studsvik, vil det generere omtrent 500 beholdere (se Tabell 9).



Figur 8: Flytskjema for behandling av brukt brensel hos Studsvik. Tykkelsen på de blå pilene er proporsjonal med mengden brensel som følger den respektive flyten.

6.6 Oppsummert: Ikke alle løsninger er relevante for alle typer brukt brensel

Ikke alle løsninger er mulige eller relevante for alle typer brukt brensel. Tabell 2 viser tilgjengelige og relevante opsjoner for behandling og deponering. Eksperimentalt brensel fra Haldenreaktoren er delt inn i flere kategorier (ID-nummer 4 til 8 i tabellen) for å vise at noen typer, for eksempel thoriumbrensel, ikke kan reprocesseres.

Tabell 2: Oversikt over hvilke behandlings- og oppbevaringsalternativer som er mulige og relevante for de ulike brenselstypene. Brenselstypene med ID-nummer 4 til 8 er ellers i dette dokumentet omtalt som eksperimentalbrensel.

ID	Type brensel	Mengde (tonn)	Tilgjengelige alternativer for behandling		Tilgjengelige alternativer for mellomlagring eller deponering, dersom forbehandling ikke utføres		
			Orano	Studsvik	Midlertidig mellomlager	Deponering i fjellhall	Deponering i borehull
1	Metallisk uran i kapsling av aluminium (JEEP 1, HBWR 1)	10	Reposessering mulig	Oksidering og utskifting av kapsling	Mulig, men det medfører vedvarende brann- og eksplosjonsfare	Kun mulig dersom man legger til grunn en liberal tolkning av IAEAs retningslinjer og utvikler et nytt/modifisert deponikonsept.	
2	UO ₂ i kapsling av aluminium (JEEP 2)	1,5	Reposessering mulig	Utskifting av kapsling	Mulig		
3	UO ₂ i zircaloy-kapsling (HBWR driver)	3,6	Reposessering mulig	Tørkes og pakkes	Mulig	Mulig	Mulig
4	UO ₂ i kapsling av rustfritt stål (HBWR 1 spike)	<0,1	Reposessering mulig	Tørkes og pakkes	Mulig	Mulig	Mulig
5	UO ₂ i Zircaloy-kapsling (HBWR eksperimental)	1,3	Reposessering mulig for anrikning opp til 10%. For stor mengde til smelting	Tørkes og pakkes	Mulig	Mulig	Mulig
			Reposessering utredes for anrikning over 10%				
6	U/Pu-MOX i Zircaloy-kapsling	<0,1	Reposessering mulig	Tørkes og pakkes	Mulig	Mulig	Mulig
7	U/Th-MOX i zircaloy-kapsling	<0,1	Smelting og vitrifisering (Dem&Melt) utredes	Tørkes og pakkes	Mulig	Mulig	Mulig
8	EXOTICS (HBWR eksp.)	<0,1	Reposessering og/eller smelting utredes	Tørkes og pakkes	Mulig	Mulig	Mulig

7 Alternativanalyse

Med bakgrunn i mandatet for denne utredningen og gjennomgangen i de foregående kapitlene har alternativene blitt utredet og vurdert gjennom en samfunnsøkonomisk analyse, med følgende justeringer:

- 0) **Nullalternativet.** I dette alternativet gjøres det ingen form for behandling av avfallet.
- 1) **Reprosessering** der følgende alternativer vurderes:
 - a. Reprosessering med retur av høyradioaktivt avfall
 - b. Reprosessering med retur av lavradioaktivt avfall
- 2) **Oksidering** der følgende alternativ vurderes:
 - c. Oksidering av metallisk uran og utskiftning av aluminiumskapsling
- 3) **Mekanisk forbehandling** der følgende alternativ vurderes:
 - d. Mekanisk forbehandling med inspeksjon med plassering av avfallet i innerbeholdere
- 4) **Kombinasjoner av konsept a-d**
 - e. Kombinasjonsalternativ

Konseptene er gitt en utfyllende beskrivelse i mulighetsstudien. Alternativene følger av utredningens mandat.

Alternativanalysen gir en samlet vurdering av de samfunnsøkonomiske kostnads- og nyttevirkningene som følge av en *behandlingsløsning*. I hht. rundskrivet fra Finansdepartementet skal alternativene rangeres etter samfunnsøkonomisk lønnsomhet der både prissatte og ikke prissatte virkninger er hensyntatt. I tillegg til kostnads- og nytteinformasjonen i den samfunnsøkonomiske analysen presenterer vi også anslag for samlet investeringskostnad som kan benyttes til kostnadsstyring og gir informasjon om anslått budsjettmessig belastning. For alle alternativer er det derfor utarbeidet anslag for samlet ikke-neddiskontert investeringskostnad inkludert merverdiavgift. Usikkerheten om anslaget synliggjøres ved å oppgi anslag både for P50 og P85. Alle disse elementene danner grunnlaget for beslutning om videre gjennomføring av prosjektet gitt konseptvalg.

Analysene bygger på en rekke forutsetninger og inngangsdata. Det er også gjort metodiske valg, avgrensninger og avveiiinger i analysearbeidet. Vi starter kapitlet med en gjennomgang av sentrale forutsetninger med en drøfting av de metodiske valgene som er gjort før vi presenterer den samfunnsøkonomiske analysen av prissatte virkninger. Deretter vurderer vi virkningene i forhold til samfunns- og effektmål og ikke prissatte virkninger. I kapittel 7.5 oppsummerer vi de viktigste resultatene og gir anbefalinger om den videre prosessen fra et samfunnsøkonomisk perspektiv.

7.1 Sentrale forutsetninger og metodiske valg

Den samfunnsøkonomiske analysen er gjennomført i tråd med de krav som er satt i Finansdepartementets rundskriv R-109/14 Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv, men er tilpasset de spesielle aspektene ved de alternativene konseptene, gradene av løsningsalternativenes modenhet og at valg av behandlingkonsept må ta hensyn til konsekvensene løsningsvalget har for en mer langvarig oppbevaringsløsning.

Som en del av alternativanalysen er det gjort en grundig vurdering av hensiktsmessigheten av å gå videre med flere enn ett alternativ, og grunnlaget for en trinnvis beslutningsprosess.

Vi estimerer prisene iht. prisnivå i januar 2020. Vi forsøker ikke å forutsi hva valutasingninger vil ha å si for de ulike alternativene, men vi påpeker at dersom kursen for svenske kroner og euro har forskjellig utvikling, så kan det gjøre det ene behandlingsalternativet dyrere eller billigere i forhold til det andre, siden Studsvik betales i svenske kroner, og Orano i euro.

Analyseperioden er definert fra 2021 til og med 2040. Dette er den antatte tiden det vil ta fra forarbeidene starter og til behandlingen er gjennomført og returavfallet er mottatt i Norge. *Levetiden* på returavfallet er adskillig lengre, flere hundre tusen år. En realisering av samfunns målet krever derfor at avfallet som returneres, lagres eller deponeres ved hjemkomst i tråd med gjeldende krav til oppbevaring av radioaktivt avfall. Finansdepartementets rundskriv presiserer at analyseperioden bør være så nær levetiden som mulig. I og med at denne utredningen skal følges opp med en konseptvalgutredning for oppbevaringsløsning, har vi funnet det hensiktsmessig å avgrense analyseperioden for behandlingsløsningene til behandlingen er gjennomført og avfallet er tilbake i Norge, på tross av at levetiden for avfallet er mange ganger lengre. I og med at avfallet må oppbevares videre, vet vi at det påløper kostnader til oppbevaring etter behandlingsdelen er ferdig. Disse kostnadene kan betraktes som en negativ restverdi. Hva den negative restverdien er, har vi kun grove anslag på basert på tidligere utredninger. Anslagene er likevel egnet til å si noe om forskjellene i restverdi mellom alternativene på et overordnet nivå. Tilnærmingen gjør det mulig å vurdere behandling og oppbevaring i sammenheng, og å legge dette til grunn for valg av behandlingsløsning. Rent prinsipielt vil også en riktig beregnet restverdi gi samme resultat som en beregning over hele avfallens levetid. Utfordringene med lang levetid og usikkerhet om framtidige oppbevaringskostnader og risikoer, er den samme, uavhengig av beregningsteknisk tilnærming.

7.1.1 Forutsetninger og avgrensning av nullalternativet

Nullalternativet er referansebanen som konseptene vurderes opp mot. Det vil si at alle kostnads- og nyttevirksomheter presenteres som endringer relativt til det som oppstår av kostnads- og nyttevirksomheter i nullalternativet.

Det fremgår av Finansdepartementets rundskriv R-109/14 at nullalternativet skal representere en forsvarlig videreføring av dagens situasjon. For investeringstiltak vil dette ifølge rundskrivet innbefatte kostnader for det minimum av vedlikehold som er nødvendig for at alternativet skal være reelt. I dette ligger det ikke et krav om like lang levetid som for øvrige tiltak. Videre sier rundskrivet at nullalternativet kun skal ta høyde for tiltak som er vedtatt og finansiert. Dette hensynet er ikke vektlagt i denne analysen. For at nullalternativet skal være reelt, og kunne tilfredsstillende fastsette krav til forsvarlig lagring, må det gjøres noen tiltak for at dagens lagring skal kunne strekkes til 2040.

Vi har satt samme analyseperiode for nullalternativet som for de øvrige alternativene. 2040 er valgt som sluttdato for nullalternativet fordi det sammenfaller med tidspunktet for når vi forventer at stabilisert avfall vil returneres til Norge dersom det sendes til behandling hos Studsvik eller Orano. I alternativ a, b, c og d legger vi til grunn at alt brenselet vil bli transportert til behandling innen 2028, slik at dagens lagre må holdes i drift frem til da. I nullalternativet videreføres dagens lagre fram til 2040, der det gjøres det vi vurderer som et absolutt minimum av tiltak for å sikre en forsvarlig oppbevaring i tråd med gjeldende lovverk og internasjonale retningslinjer.

Nullalternativet vil kunne ha en lengre levetid som oppbevaringsløsning enn til 2040. Levetiden for oppbevaringsløsningen vil avhenge av hvilke tiltak som gjøres i nullalternativet, og hvilke krav DSA stiller til anlegget på kort og lang sikt. Nullalternativet vil uansett ikke kunne videreføres som en

langsiktig lagringsløsning eller deponi. Avfallet må med andre ord underkastes en eller annen form for behandling før det gis en langsiktig oppbevaring eller deponeres. Nullalternativet er dermed å betrakte som et utsettelsesalternativ for valg av behandling/løsning selv om vi har satt samme analyseperiode for nullalternativet som for behandling/alternativene. Avfallet vil dermed også ha en høyere negativ restverdi enn i behandling/alternativene. En videreføring av dagens løsning uten noen form for tiltak, og med en enda kortere levetid enn 2040, er også vurdert som nullalternativ. Dette anser vi ikke som en reell løsning. Den gjenværende levetiden til dagens midlertidige lagre anslås av NND/IFE til å være omtrent ti år, eller maksimalt 10 år. Denne vurderingen støttes bl.a. av et pålegg fra DSA om å forbedre dagens lagre. Rent prinsipielt kunne man ha definert et nullalternativ som innebar videreføring av dagens lagre med en levetid på opp til 10 år uten tiltak. Vår vurdering er at dette ikke er realistisk. Avfallet må tas hånd om når levetiden utløper. Det tar tid å etablere et nytt mellomlager. For at det skal kunne være klart om 10 år, må prosessen starte nå. Det vil med andre ord være behov for tiltak som sikrer avfallet etter antatt levetid for dagens løsning. Dersom det eventuelt skulle settes en kortere levetid for nullalternativet vil det uansett ligge igjen en stor kostnad i form av ustabil bruk brensel som må håndteres. Kostnadene for et nullalternativ med kortere levetid er på denne bakgrunn vurdert som høyere enn kostnadene ved valgte nullalternativ.

Det gjøres også vurderinger av realopsjoner i de alternative løsningsvalgene og hvordan disse varierer mellom behandling/alternativene.

7.1.2 Oppsummering: sentrale begrep og forutsetninger

Tabell 3 oppsummerer sentrale begreper, forutsetninger og avgrensinger for analysen.

Tabell 3: Oversikt over beregningsforutsetninger og forklaringer

Begrep/faktor	Beregningsforutsetning og forklaring
Analyseperiode	Analyseperioden er satt til perioden fra arbeidet med å behandle avfallet settes i gang og fram til returavfallet etter stabilisering ankommer Norge. Dette tilsvarer perioden fra 2021 til og med 2040.
Levetid og restverdi	Avfallet har en levetid på flere hundre tusen år ubehandlet og også etter det er behandlet. Det vil derfor påløpe kostnader ved avfallet etter analyseperiodens slutt. Denne kostnaden er behandlet som en negativ restverdi. Begrunnelsen for denne tilnærmingen er todelt; i) det skal utarbeides en egen konseptvalgutredning for oppbevaringsløsning som vil behandle den videre oppbevaringen av avfallet etter behandling. Levetiden for konseptene i den kommende KVV-en bør samsvare med levetiden for avfallets radioaktivitet, dvs. det som gjør at avfallet krever en forsvarlig oppbevaring, ii) dersom restverdien beregnes riktig vil det på et prinsipielt grunnlag ikke være forskjell på en beregning der analyseperioden settes lik levetiden, og en beregning med en kortere analyseperiode med restverdi. Med stor usikker om framtidige kostnader der kostnader og konseptvalg skal vurderes på et senere tidspunkt, vurderer vi det som enklere og mer transparent å vurdere restverdier enn å beregne levetid og anslå kostnader for alternative oppbevaringsløsninger. Det siste skal uansett gjøres i en egen KVV.
Valuta	Behandlingskonseptene er eksponert for valutasingninger. Dette har betydning for kostnadene vurdert i norske kroner, og kan også ha betydning for rangeringen av konseptene i og med at ett alternativ er i svenske kroner (SEK), og ett alternativ er i euro. Vi har lagt til grunn følgende kurser: <ul style="list-style-type: none"> • 27. januar 1 EUR = 10 NOK

	<ul style="list-style-type: none"> • 27. januar 100 SEK = 95 NOK Vi har lagt til grunn at den norske stat er risikonøytral, og dermed ikke vurdert valutausikkerhet som en kostnad. Vi har gjort følsomhetsanalyser for å vise rangeringens følsomhet som følge av svingninger i SEK og euro mot NOK.
Kalkulasjonsrente	I henhold til R-109/14 er det benyttet en risikojustert rente på 4,0 prosent
Nåverdi	Alle beløp i den samfunnsøkonomiske analysen er neddiskontert til nåverdi og beregnet i 2020 kroner.
Skattefinansiering	Skattefinansieringskostnaden er et uttrykk for den marginale kostnaden ved å bringe inn en ekstra kroner. Denne er satt til 20 øre per ekstra skattekroner. I tråd med kravene i R-109/14 skal det beregnes en skattefinansieringskostnad på 20 prosent på alle relevante kostnadsvirkninger over offentlige budsjetter. Vi har lagt til grunn at konseptene i sin helhet finansieres over offentlige budsjetter.
Realprisjustering	Lønnskostnader er realprisjustert med 0.8 prosent årlig. Dette er i henhold til samme rundskriv fra Finansdepartementet. Perspektivmeldingen 2017 gir et anslag på 0.8 prosent årlig vekst i BNP per innbygger i perioden 2016 - 2060.
Prisnivå	Prisnivået er satt til januar 2020
MVA	I den samfunnsøkonomiske analysen er de prissatte virkningen uten mva. I beregninger av budsjettkonsekvenser er mva. inkludert.
Realopsjon	Det gjøres vurderinger av realopsjoner, men de kvantifiseres ikke.

7.2 Samfunnsøkonomiske virkninger

De samfunnsøkonomiske virkningene knyttet til alternativene er delt inn i følgende kategorier:

- Investeringskostnader
- Driftskostnader
- Skattefinansieringskostnader
- Restverdi
- Realopsjoner
- Nytte på kort og lang sikt som følge av at brenselet gis en forsvarlig behandling
- Eventuelle netto ringvirkninger av tiltaket

Fordelingsvirkninger behandles for seg som et tillegg til den samfunnsøkonomiske analysen.

De fleste kostnadene er behandlet som prissatte virkninger, mens nyttevirkningene i all hovedsak er i kategorien ikke-prissatte virkninger. Nyttens er i prinsippet verdt det befolkningen er villig til å betale for den. Vi har ikke forsøkt å verdsette nytten av tiltaket, men i stedet vurdert virkningene mot målene fastsatt i kapittel 4, problembeskrivelsen (jf. kap. 2) og behovene som ønskes imøtekommet gjennom tiltaket som vurderes (jf. kap. 3).

Når virkningene av et tiltak ikke kan verdsettes, er det ikke mulig å gjennomføre en nytte-kostnadsanalyse. Kostnadseffektivitetsanalyse eller en kostnads-virkningsanalyse må da vurderes. Alternativene som inngår i analysen har noe ulike nyttevirkninger. Disse kan langt på vei håndteres gjennom å vurdere restverdi og realopsjoner, forutsatt at disse virkningene verdsettes. De resterende virkningene vil da langt på vei, men ikke helt, være de samme. Verken realopsjoner eller restverdier er kostnadsestimert selv om det gis noen grove anslag over restverdien ved ubehandlet avfall. De samfunnsøkonomiske analysene er derfor gjennomført som en kostnadsvirkningsanalyse. I denne tilnærmingen veies kostnadene ved tiltakene mot en kvalitativ beskrivelse av de ulike nyttevirkningene.

Flere av virkningene er kvantifisert i fysiske størrelser (volum på avfallet). De ikke prissatte virkningene inngår i den samlede vurderingen. Kostnadsvirkningsanalyser gir ikke grunnlag for å rangere tiltakene etter samfunnsøkonomisk lønnsomhet, men gir likevel informasjon til beslutningstakere om hvilke nyttevirkninger som kan forventes ved de ulike investeringsalternativene som følger med behandlingstilstandene. Analysene vurderes som tilstrekkelige til å kunne gi faglige anbefalinger om den videre prosessen fra et samfunnsøkonomiske perspektiv.

7.2.1 Investering- og driftskostnader: prissatte virkninger

I dette delkapitlet beskriver vi kort beregningsgrunnlaget og inngangsdataene for de prissatte virkningene i de samfunnsøkonomiske analysene for hvert alternativ. Det redegjøres også kort for avfallets volum og tilstand ved analyseperiodens slutt. Dette danner sammen med vurderingene av konsekvenser for deponiløsning i delkapittel 7.3.1 grunnlag for vurderingene av restverdi og realopsjoner som behandles i delkapittel 7.2.6.

7.2.1.1 Nullalternativet

Nullalternativet innebærer en videreføring av dagens situasjon, det vil si ingen kjemisk eller mekanisk behandling av brenselet. Nullalternativet går ut på fortsatt lagring av brenselet i Norge.

For å sikre at nullalternativet er levedyktig ut analyseperioden, dvs. fram til 2040, har vi sett det nødvendig å forutsette at det vil gjøres noen tiltak i dette alternativet. Basert på tidligere utredninger og gjennomgangen i mulighetsstudien (jf. delkapittel 6.1.1) har vi forutsatt at det opprettes nye lagre for brukt brensel i form av såkalte dual-purpose casks, dvs. oppbevaringsbeholdere som både kan brukes til transport og midlertidig lagring. Med dette tiltaket kan nullalternativet videreføres til 2040. Levetiden til nullalternativet vil muligens kunne forlenges noe dersom denne oppbevaringsløsningen godkjennes. Brenselet kan ikke deponeres i den form og tilstand det har i dette alternativet.

Tidlig i denne utredningen, da mandatet ble utformet, la vi til grunn at en viss mengde mekanisk behandling (primært i form av inspeksjon, tørking og pakking i nye innerbeholdere) ville være nødvendig i alle tilfeller, også dersom man skulle velge å fortsette å lagre brenselet midlertidig. Derfor ble mekanisk forbehandling definert som nullalternativ. I løpet av utredningen har vi valgt å nyansere dette noe. Vi har kommet frem til at en videreføring av midlertidig lagring uten noen form for inspeksjon eller behandling kan være akseptabelt dersom de nevnte oppbevaringsbeholderen benyttes. Nullalternativet er derfor definert som fortsatt midlertidig lagring uten noen form for forbehandling, mens det opprinnelige nullalternativet med mekanisk forbehandling behandles som et selvstendig alternativ (se kapittel 6.4). Dette er fremdeles innenfor utredningens mandat som peker på alternativ d ingen kjemisk behandling som nullalternativ. Forskjellen er at vi har definert et nullalternativ som verken er kjemisk eller mekanisk behandling, og beholdt et alternativ der vi har omdøpt «ingen kjemisk behandling» til «mekanisk behandling».

I dag lagres noe av brenselet på Kjeller, og noe i Halden. I denne utredningens nullalternativ tar vi ikke stilling til om brenselet i fremtiden skal oppbevares på ett eller flere steder. Å vurdere eventuelle fordeler og ulemper med samlokalisering, er et av temaene for den kommende KVU-en om oppbevaring av radioaktivt avfall.

Investeringskostnadene i nullalternativet

Investeringskostnadene i nullalternativet består av anskaffelse av lagringsbeholdere (casks) samt utstyr og prosjektering for å flytte brenselet fra dagens beholdere og over i de nye lagringsbeholderne.

Basert på NND/IFEs markedsdialog med leverandører av lagringsbeholdere, anslås denne kostnaden til 300 MNOK. I tillegg antar vi at det vil bli nødvendig å inspisere deler av brenselet, for å verifisere at det ikke har korrodert eller et skadet på annet vis, og for å verifisere og supplere brenselets dokumentasjon. Inspeksjonskostnaden anslås til 200 MNOK, basert på markedsundersøkelser. På samme måte som det er usikkert om det er akseptabelt å videreføre midlertidig lagring uten noen form for behandling, er det usikkert hvor mye inspeksjon som må til og hva inspeksjon eventuelt vil koste. I kostnadsestimeringen er det også lagt inn felleskostnader til planlegging, utredning og analyser, prosjektering, anskaffelser mv. (se vedleg: Usikkerhetsanalyse investeringskostnad. Til konseptvalgutredning for behandling av norsk brukt reaktorbrensel, mai 2020).

I kostnadsestimeringen er det lagt en beregningsteknisk forutsetning om lik årlig felleskostnad selv om det forventes noen svingninger i disse kostnadene gjennom analyseperioden.

Nullalternativet har følgende sentrale usikkerheter:

- Konseptet forutsetter at DSA tillater at brenselet ikke behandles i løpet av perioden frem mot 2040. Dersom DSA ikke godkjenner mellomlagring i dual-purpose casks, så er konseptet ikke realiserbart.
- Det er usikkert om Metlab II må holdes ved like eller oppgraderes som en beredskapsressurs for å kunne inspisere eller behandle brukt brensel som lagres midlertidig i Norge. Vedlikehold og oppgradering av Metlab II utgjør investeringskostnader i størrelsesorden 100-1000 MNOK. I tillegg kommer driftskostnadene for Metlab II. Det kan også komme regelverksendringer og tilleggskrav fra DSA.
- Usikkerhet om framdrift er vurdert som en kostnadsrisiko. Dersom det ikke fattes en beslutning tidlig nok til at det kan gjøres tiltak som forlenger levetiden på dagens løsning, er det en risiko for at mulige tiltak for å sikre en forsvarlig oppbevaring vil bli mer kostnadskreven.

Den første usikkerheten retter seg mot hvorvidt nullalternativet lar seg realisere i den oppgitte analyseperioden. En konsekvens av at DSA ikke gir de nødvendige tillatelse er at det i løpet av analyseperioden må velges et annet konsept, eksempelvis et konsept med inspeksjon og mekanisk forbehandling, tilsvarende alternativ d. Dette vil i så tilfelle øke kostnadene ved å velge nullalternativet, og vil også kunne få betydning for rangeringen av de andre behandlingskonseptene som følge av at noen av prosessen i alternativ d sammenfaller med behandlingen som gjøres i alternativ c, men som også kan ha betydning for hvilket avfall og tilstand på avfallet som sendes til behandling i alternativ a og b. Forbehandling kan trolig også inkluderes som en del av alternativ a og b. Konsekvensene som følger av usikkerhet om godkjenning av DSA er virkninger vi ikke har funnet det forsvarlig å tallfeste i usikkerhetsanalysen, men heller valgt å behandle kvalitativt i den samlede vurderingen. Det må forventes at DSA kan forhåndsgodkjenne løsningen før anskaffelse av lagerbeholdninger gjøres og lagrene oppdateres. Det vurderes derfor som lav risiko for en sunk-cost-investering.

De øvrige usikkerhetene er enklere å behandle som en usikkerhet i en ordinær usikkerhetsanalyse. Dette er også gjort. Forventet investeringskostnad eks. mva. er vist i Tabell 4. Det er denne verdien som gir inngangsdataverdien til den samfunnsøkonomiske analysen.

Tabell 4 Basisestimat og forventet verdi Alternativ 0. I millioner kroner eks. mva. med mindre annet er angitt.

	Basisestimat	Forventet verdi	Standardavvik
1. Transport, forbehandling, behandling	0		
2. Midlertidig lagring frem til 2040	500	1 054	463
2.1 Lagring/oppgradering	300	555	308
2.2 Inspeksjon av brensel	200	498	345
3. Felleskostnader	100	113	26
Sum basisestimat	600	1 166	464
Usikkerhetsdrivere		273	289
Investeringskostnad	600	1 439	631
Merverdiavgift	150	360	158
Investeringskostnad inkl. mva.	750	1 799	789

Tabell 4 viser også investeringskostnadene inkludert mva. Vi har forutsatt at investeringskostnadene (minus felleskostnader) fases inn over en treårsperiode med like årlige beløp fra 2026 til og med 2028.

Driftskostnader

Den årlige driftskostnaden for dagens midlertidige lagre er på rundt 50 MNOK. I nullalternativet legger vi til grunn den samme årlige driftskostnaden gjennom hele analyseperioden. I nåverdiberegningene er det antatt at 90 % av de årlige driftskostnadene er arbeidskraftkostnader mens 100 % av felleskostnadene er forutsatt å være arbeidskraftkostnader. Dette er gjort likt for samtlige alternativer.

7.2.2 Reprosessering hos Orano, alternativ a og b.

Behandling hos Orano er beskrevet i kapittel 6.5.1. Alternativene innebærer at avfallet sendes til Orano i Frankrike for reprosessering.

I Alternativ a. Reprosessering med retur av høyradioaktivt avfall vil Norge får igjen 8 beholdere med vitrifisert avfall. Dette er høyradioaktivt avfall.

I Alternativ b. Reprosessering med retur av lavradioaktivt avfall vil Norge få igjen omtrent 500 beholdere med langlivet mellomradioaktivt avfall.

I begge tilfeller kommer returavfallet i 134.5 cm lange sylindere med 44 cm ytre diameter og 0.5 cm tykke vegger. Uran og plutonium blir i begge tilfeller igjen i Frankrike for å bli brukt til fremstilling av nytt atombrensel for bruk i sivile kraftreaktorer. Vi har ikke beregnet hva det vil koste å eventuelt lagre eller deponere returnert uran og plutonium. Dette er beskrevet i mulighetsstudien, men er ikke tatt med videre til alternativanalysen.

I kostnadsestimeringen har vi ikke klart å skille mellom alternativ a og b. Det som skiller alternativene i vår analyse er dermed kun volum og hvor aktivt returavfallet er ved retur. Betydningen av valg av returavfall vurderes i kapittel 7.4.2.

Usikkerhet og estimerte investeringskostnader

Som nevnt i kapittel 6.5.1 er det nødvendig med mekanisk forbehandling for deler av brenselet før det reprosesserer. Hvorvidt dette kan gjøres hos Orano eller om det må gjøres hos en tredjepart er under utredning. Studsvik er en mulig tredjepart for mekanisk forbehandling, noe som i tilfelle vil kreve at noe av brenselet sendes til forhandling hos Studsvik og derfra videre til La Hague.

Usikkerhetene knyttet til forbehandling før reprosessering er:

- Hvor mye forbehandling som er nødvendig
- Hvor forbehandlingen skal utføres
- Hva det koster å gjennomføre forbehandlingen

Disse usikkerhetene er tatt hensyn til i under estimeringen av kostnadene for repressering.

Det planlegges for kontrakt i 2022/2023. Det er risiko knyttet til utsettelse av valg av behandlingsform. Dersom det blir utsettelse til etter 2026 vil det også være en risiko for at Orano-alternativet forsvinner iht. signaler som har kommet fra Frankrike. Det har kommet en offentlig debatt i Frankrike om at repressering og mottak av denne type kan avvikles. Orano kan ikke garantere at de kan ta imot brensel etter 2026. Det kan komme flere aktører som vil etterspørre dekommisjonering, og det kan også komme andre relevante tilbydere på markedet dersom Orano ikke er i posisjon til å ta imot avfallet for repressering etter 2026. Hvordan markedssituasjonen og mulighetene for repressering er etter 2026 er usikkert.

I begge alternativene har vi forutsatt at avfallet fraktes ut av Norge innen 2028 og at dagens lagre derfor må opprettholdes til og med 2028. Returavfallet mottas i begge alternativene i 2040.

Det vises til den vedlagte usikkerhetsanalysen for en nærmere beskrivelse av inngangsdata og usikkerhet. Forventet investeringskostnad eks. mva. er vist i Tabell 5. Det er denne verdien som gir inngangsdataverdien til den samfunnsøkonomiske analysen.

Tabell 5 Basisestimat og forventet verdi for alternativ a, b). I millioner kroner eks. mva. med mindre annet er angitt.

	Basisestimat	Forventet verdi	Standardavvik
1. Transport, forbehandling, behandling	3 000	3 000	744
3. Felleskostnader	100	113	26
Sum basisestimat	3 100	3 113	744
Usikkerhetsdrivere		862	894
Investeringskostnad	3 100	3 974	1 223
Merverdiavgift	775	994	306
Investeringskostnad inkl. mva.	3 875	4 968	1 528

Tabell 5 viser også investeringskostnadene inkludert mva. Vi har forutsatt at investeringskostnadene (minus felleskostnader) fases inn med samme budsjettvirkning over 14 år (2026-2040). Dette er en forenklet tilnærming. Betalingsprofilen i en eventuell avtale vil være en del av en forhandling. Forutsetningen bygger på en antagelse om at kostnadene vil begynne å løpe fra uttransporteringen starter og fram til kontrakten er fullført og avfallet er returnert til Norge. De endelige budsjettvirkningene med innfasing må vurderes som en del av forprosjektet.

Driftskostnader fram til uttransportering

I tillegg til kostnaden for transport og behandling, kommer driftskostnadene for dagens brenselslagre frem til alt brenselet har blitt uttransportert i omtrent 2028. De er på omtrent 50 MNOK per år og er forventet å løpe i 8 år, fram til 2028. MNOK. Kostnadene er de samme som er forutsatt i de andre alternativene for denne perioden.

7.2.3 Oksidering og utskifting av aluminiumskapsling, alternativ c

Alternativ c – oksidering, utskifting av kapsling og mekanisk forbehandling av kjemisk stabilt brensel – er beskrevet i kapittel 6.5.2. Alternativet innebærer at avfallet fraktes til Studsvik i Sverige for

behandling. Som vist i Figur 8, kan Studsvik benytte en kombinasjon av behandlingsmetoder der til sammen alt avfallet forberedes til mellomlagring eller deponering.

Dersom alt brenselet behandles hos Studsvik, vil det generere omtrent 500 beholdere (se Tabell 9).

Usikkerhet

Studsvik har en ny metode for kjemisk behandling, oksidering, som er mindre teknologisk moden enn repressering. Oksidering har kun blitt gjort i liten skala så langt, og Studsvik har behov for å oppgradere for å gjennomføre dette i større skala. Det vil kunne kreve mer folk og utstyr. Det vil også være risiko for at det vil stilles strengere sikkerhetskrav som vil kunne medføre behov for utsettelse.

Fremdrift er identifisert som en sentral usikkerhetsdriver i dette alternativet. Det planlegges for kontrakt i 2022/2023. Det er risiko knyttet til utsettelse av valg av behandlingsform. Dersom det blir utsettelse til 2026 vil det også være en risiko for at Orano-alternativet forsvinner. I så fall kan det bli et stort press i et lite marked, med påfølgende store prisøkninger fra alternative tilbydere i markedet.

Dersom Frankrike skulle velge å avslutte repressering etter 2026, vil dagens konkurransesituasjon bli borte. Da vil Norge stå i svakere forhandlingsposisjon mot Studsvik og det er stor sannsynlighet for økte kostnader. På lengre sikt kan det muligens oppstå et marked for oksidering av brensel, fordi Canada planlegger for å starte oksideringer etter 2030.

Studsviks behandlingstilnærming er mindre teknologisk moden enn repressering. Mangelen på teknologisk modenhet medfører en del risikoer. I verste fall kan det hende at oksidering ikke fungerer. Det vil si at det kan hende at Studsvik ikke lykkes med å gjennomføre det overhode, eller at produktet ikke er tilstrekkelig stabilt til å kunne deponeres. I så fall ville Norge være i en vanskelig situasjon der man allerede har brukt tid og penger på noe som ikke fungerer. I tillegg er det ikke sikkert at Orano fortsatt tilbyr repressering etter 2026. Dermed er det en risiko for at ingen alternative løsninger gjenstår, dersom man satser på oksidering og det skulle feile. Vår vurdering er imidlertid at det er sannsynlig at oksidering fungerer. Det er mer sannsynlig at mangelen på teknologisk umodenhet medfører at behandlingen kommer i gang senere eller tar lengre tid enn forventet, men konsekvensene av det er ikke alvorlige, så lenge brenselet og behandlingsproduktene er lagret hos Studsvik.

Det vises til den vedlagte usikkerhetsanalysen for en nærmere beskrivelse av inngangsdata og usikkerhet. Forventet investeringskostnad eks. mva. er vist i Tabell 6. Det er denne verdien som gir inngangsdataverdien til den samfunnsøkonomiske analysen.

Tabell 6 Basisestimat og forventet verdi Alternativ c. I millioner kroner eks. mva. med mindre annet er angitt.

	Basisestimat	Forventet verdi	Standardavvik
1. Transport, forbehandling, behandling	2 600	2 770	602
3. Felleskostnader	100	113	27
Sum basis-estimat	2 700	2 883	603
Usikkerhetsdrivere		1 167	833
Investeringskostnad	2 700	4 050	1 166
Merverdiavgift	675	1 012	291
Investeringskostnad inkl. mva.	3 375	5 062	1 457

Tabell 6 viser også investeringskostnadene inkludert mva. Vi har forutsatt at investeringskostnadene (minus felleskostnader) fases inn med samme budsjettvirkning over 14 år (2026-2040). Dette er en

forenklet tilnærming. Betalingsprofilen i en eventuell avtale vil være en del av en forhandling. Forutsetningen om budsjettmessig innfasing bygger på en antagelse om at kostnadene vil begynne å løpe fra uttransporteringen starter og fram til kontrakten er fullført og avfallet er returnert til Norge. De endelige budsjettvirkningene med innfasing må vurderes som en del av forprosjektet.

Driftskostnader frem til uttransportering

I tillegg til kostnaden for transport og behandling, kommer driftskostnadene for dagens brenselagre frem til alt brenselet har blitt uttransportert i omtrent 2028. De er på omtrent 50 MNOK per år og er forventet å løpe i 8 år, frem til 2028. MNOK. Kostnadene er de samme som er forutsatt i de andre alternativene for denne perioden.

7.2.4 Mekanisk forbehandling, alternativ d

Alternativ d – mekanisk forbehandling – er beskrevet i kapittel 6.4. Kostnadene for mekanisk forbehandling er anslått på grunnlag av NNDs markedsdialog. Estimater er på 1700 MNOK, og inkluderer transport, mekanisk forbehandling og lagring av ferdigbehandlet brensel frem til 2040.

Det vises til den vedlagte usikkerhetsanalysen for en nærmere beskrivelse av inngangsdata og usikkerhet. Forventet investeringskostnad eks. mva. er vist i følgende tabell. Det er denne verdien som gir inngangsdataverdien til den samfunnsøkonomiske analysen.

Tabell 7: Basisestimat og forventet verdi for alternativ d. I millioner kroner eks. mva. med mindre annet er angitt.

	Basisestimat	Forventet verdi	Standardavvik
1. Transport, forbehandling, behandling	1 700	1 808	225
3. Felleskostnader	100	113	26
Sum basisestimat	1 800	1 921	227
Usikkerhetsdrivere		696	490
Investeringskostnad	1 800	2 617	571
Merverdiavgift	450	654	143
Investeringskostnad inkl. mva.	2250	3 271	714

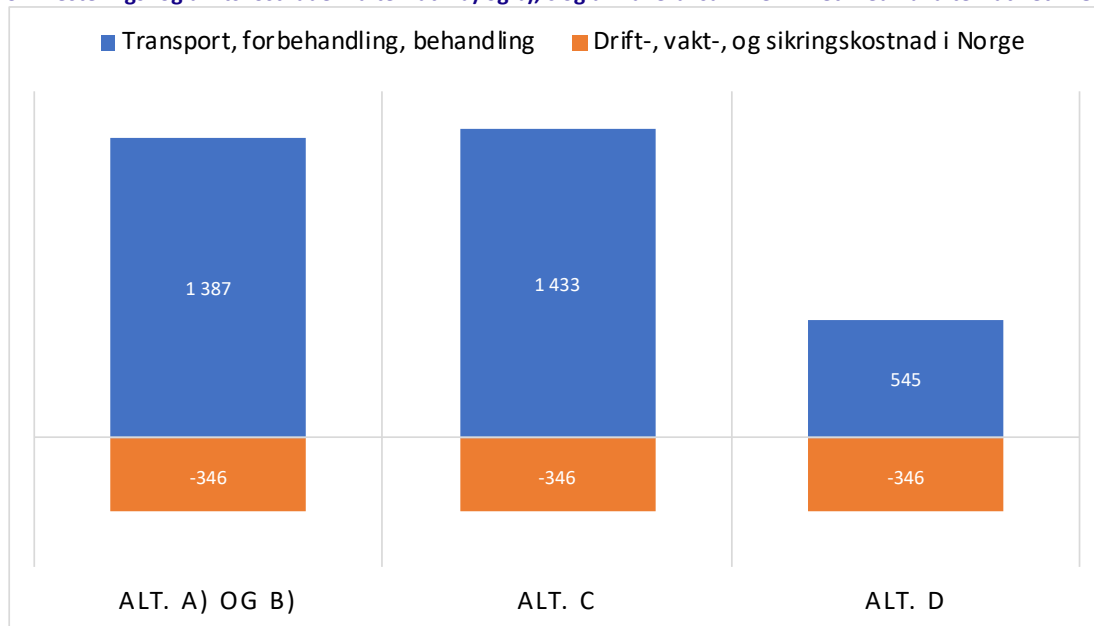
Driftskostnader fram til uttransportering

I tillegg til kostnaden for transport og behandling, kommer driftskostnadene for dagens brenselagre frem til alt brenselet har blitt uttransportert i omtrent 2028. De er på omtrent 50 MNOK per år og er forventet å løpe i 8 år, fram til 2028. MNOK. Kostnadene er de samme som er forutsatt i de andre alternativene for denne perioden.

7.2.5 Oppsummering investerings- og driftskostnader

Nåverdien av investerings- og driftskostnadene i alternativene sammenliknet med nullalternativet er vist i følgende figur. I figuren viser de blå feltene kostnader, mens de oransje feltene (negative tall) viser sparte driftskostnader sammenliknet med nullalternativet. Felleskostnader er forutsatt å være de samme i alle alternativene, inkludert nullalternativet. I nåverdiberegningene er det også lagt samme forutsetninger om når brenselet transporteres ut og når det kommer tilbake for samtlige alternativer. Med forskyvninger i innfasingen vil også nåverdien endre seg som følge av neddiskonteringen. Rangeringen basert på investering- og driftskostnader er følsom for hva som forutsettes om innfasing, det vil si når kostnadene begynner å løpe og når brenselet fraktes ut av Norge.

Figur 9 Investerings- og driftskostnader i alternativ a) og b), c og d. Nåverdi sammenliknet med nullalternativet. NOK 2020



Følsomhetsanalysene viser at endringer i valutakurser, innfasing av kostnader og når dagens lager kan stenges ned, har stor betydning for forskjellen mellom alternativene. Usikkerhetsanalysen viser også at det er stor usikkerhet knyttet til investeringskostnadene. Dette gjelder særlig alternativ c, der umoden teknologi bidrar til at forventet kostnad blir høyere enn for alternativ a og b. Dersom denne usikkerheten ikke er reell, vil alternativ c, gitt alt annet likt, komme ut med en noe lavere kostnad enn alternativ a og b.

Vi konkluderer med at det med dagens kunnskap og informasjon, svingninger i valutakurser og usikkerhetsbilde, ikke er mulig å fastslå hvilket av de kjemiske behandlingsalternativene som vil ha lavest kostnad. I utgangspunktet framstår alternativ a, b, og c som like kostnadmessig. Det er da tatt hensyn til at alternativ c har en umoden teknologi. Alternativ d har lavest kostnader, men alternativet kommer etter våre vurderinger dårlig ut på samfunns målet (jf. delkapittel 7.3).

7.2.6 Restverdi og realopsjoner

Ved analyseperiodens slutt har avfallet en negativ restverdi. Dette følger av det fortsatt vil være nødvendig med kostnadskrevende tiltak å sikre avfallet på lang sikt.

I og med det er beheftet kostnader ved avfallet ved analyseperiodens slutt, må det som en del av konseptvalget tas hensyn til hvordan valg av behandlingsalternativ påvirker kostnadene for videre håndtering av avfallet. Vi har løst dette gjennom å anslå en restverdi på avfallet i 2040. Restverdien er negativ og speiler de forventede kostnadene ved å håndtere avfallet i et langsiktig perspektiv.

Med dagens kunnskap og tolkning av regelverk er det antatt at brenselet i nullalternativet må underkastes en eller annen form for behandling før det kan gis en langsiktig oppbevaring i form av mellomlagring eller deponering etter 2040. Vårt beste estimat på forventningsverdien på denne kostnaden er samme kostnad som vi har beregnet for alternativ a og b. Vi har derfor lagt disse kostnadene som en restverdi i 2040 i nullalternativet og neddiskontert kostnaden på samme måte som de øvrige kostnadene. Dersom avfallet i nullalternativet behandles på et senere tidspunkt, vil de langsiktige lagringskonseptene som er vurdert for alternativ a, b og c også være tilgjengelige for dette avfallet. Kostnadene for videre lagring blir da den samme for alle alternativene, med unntak av

alternativ d. I hovedberegningene for alternativ d har vi lagt til grunn en streng tolkning av regelverket og forutsatt at avfallet ikke kan deponeres etter mekanisk behandling, men må underlegges en kjemisk behandling før langsiktig lagring eller deponering etter 2040. Alternativet har derfor fått samme restverdi som nullalternativet.

Vi har også vurdert om det er realopsjoner som bør hensyntas. Det er relevant å vurdere realopsjoner når [46]:

- Det er betydelig risiko for at man velger feil løsning på nåværende tidspunkt.
- Det er sannsynlig at man senere får ny informasjon som gir god støtte i beslutningsprosessen.
- Det er handlingsrom når man på et senere tidspunkt skal ta en ny beslutning om tiltak.
- Det er betydelige kostnader forbundet med å komme tilbake til utgangspunktet, det vil si å reversere en investering.

Nullalternativet og delvis også alternativ d oppfyller disse kriteriene langt på vei. Det kan komme ny kunnskap og nye løsninger som gjør at avfallet kan gis en forsvarlig langsiktig oppbevaring på andre måter enn de som er kjent i dag. Hvor stor sannsynlighet det er for dette er en annen sak. Gitt at det kommer andre og bedre løsninger på et senere tidspunkt, vil en kjemisk behandling i dag langt på vei være irreversibel. Dette må betraktes som et begrenset problem i og med returavfallet uansett er egnet for langsiktig oppbevaring, og kostnadene er innenfor et akseptabelt nivå. Nullalternativet gir et handlingsrom til å kunne vurdere framtidige løsninger, men samtidig er det en risiko for at løsningene som er tilgjengelige i dag blir borte. Vi konkluderer med at det er realopsjoner ved nullalternativet, men verdien framstår ikke som stor nok til å forsvare den beregnede restverdien som ligger i nullalternativet. Tabell 8 viser de samlede prissatte kostnadene sammenliknet med nullalternativet.

Tabell 8 Prissatte virkninger inkludert skattekostnad. Nåverdi i MNOK 2020

	alternativ a og b	alternativ c	alternativ d
Prissatte nettovirkninger			
Investeringskostnader (Transport, forbehandling, behandling)	1 387	1 433	545
Drift-, vakt-, og sikringskostnad i Norge	-346	-346	-346
Restverdi (nåverdi av anslått avfallskostnad i 2040)	-3 051	-3 051	0
Skattefinansieringskostnad	-402	-393	40
Sum prissatt kostnad (netto)	-2 412	-2 357	238

Basert på prissatte virkninger framstår behandlingskonseptene som samfunnsøkonomisk lønnsomme forutsatt at det ikke eksisterer opsjonsverdier i nullalternativet som tilsvarer den beregnede negative restverdien. Opsjonsverdien inkluderer muligheten for at lagringsbeholderen i nullalternativet, i kombinasjon med et nytt lager, kan godkjennes for mellomlagring over en lang periode etter 2040. Det kan ikke utelukkes at opsjonsverdien er på nivå med beregnet restverdi. Dersom forutsetningen om at nullalternativet ikke kan videreføres som mellomlager etter 2040 uten vesentlige tiltak ikke holder, vil den negative restverdien som er antatt i 2040 være lavere, noe som også vil gjøre nullalternativet mer lønnsomt. Kostnadene ved de ulike oppbevaringsløsningene blir da mer avgjørende. Denne type spørsmål vil følges opp i KVVU-en som skal vurdere mulige langsiktige oppbevaringsløsninger.

7.3 Kjemisk behandling tilfredsstiller samfunnsmålet

Samfunnsmålet for tiltaket som vurderes er:

"Forsvarlig og kostnadseffektiv behandling av norsk brukt reaktorbrensel i et langsiktig perspektiv."

Videre i dette kapitlet drøfter vi hvorvidt de ulike alternativene kan forventes å realisere samfunnsmålet. Kapitlet danner også bakgrunnen for fastsettelse av restverdi under prissatte virkninger. Samfunnsmålet og effektmålene peker på hvilke nyttevirkninger samfunnet ønsker å oppnå ved tiltaket. Betalingsvilligheten for å sikre en forsvarlig oppbevaring av radioaktivt avfall er ikke vurdert. Behovsanalysen og gjennomgangen av gjeldene internasjonale og nasjonale lover og regelverk, viser at nytten vurderes som svært høy. Nyttens av å innfri samfunnsmålet framstår med dette utgangspunkt som større enn de beregnede kostnadene.

7.3.1 Betydning for deponering eller midlertidig lagring

Det overordna samfunnsmålet er trygg ivaretagelse av norsk radioaktivt avfall i et langsiktig perspektiv. Som Figur 3 viser, er behandling av brukt brensel bare første steg på veien mot det målet. Etter behandlingen, må returavfall lagres midlertidig eller deponeres. I dette kapitlet gjør vi rede for konsekvensene de ulike behandlingsalternativene har for hvordan returavfallet kan oppbevares (nullalternativet – fortsatt midlertidig lagring er per definisjon begrenset til midlertidig lagring).

7.3.1.1 Mekanisk forbehandling: Mindre trygget og tvilsom overholdelse av internasjonale retningslinjer

Et deponi eller midlertidig lager med kjemisk ustabil, potensielt brennbar og eksplosjonsfarlig brensel vil alltid være mindre trygt enn om det samme deponiet eller lageret inneholdt kjemisk stabil brensel. Det kan imidlertid være mulig å oppnå et akseptabelt sikkerhetsnivå i et deponi eller midlertidig lager som inneholder ustabil brensel.

Som forklart i kapittel 5.2, må man legge til grunn en liberal tolkning av IAEOs retningslinjer, for at mekanisk behandling skal være tilstrekkelig forberedelse før deponering. Mekanisk forbehandling endrer ikke på de kjemiske egenskapene til brenselet i seg selv. Brenselet kan derfor ikke tildeles en rolle som utslippsbarriere i et eventuelt deponikonsept. Med en liberal tolkning av retningslinjene som utgangspunkt, kan det la seg gjøre å utvikle et deponikonsept. Det var nettopp det Quintessa viste i sin rapport om direkte deponering [4], se kapittel 6.3.1. Sikkerheten vil likevel alltid være dårligere enn om avfallet i seg selv er kjemisk stabil. En strategi basert på deponering etter kun mekanisk forbehandling (direkte deponering) har de følgende ulemper:

- Dersom man legger til grunn en liberal tolkning i dag, så er det en risiko for at fremtidige beslutningstakere eller tilsynsmyndigheter vil kreve at den konservative tolkningen følges i stedet. Dersom et slik skifte skjer før brenselet deponeres, kan man igjen vurdere kjemisk behandling, som i denne utredningen (man «rykker tilbake til start»). Da risikerer man imidlertid at Orano og Studsvik ikke lenger tilbyr repressering eller oksidering. Dersom brenselet allerede har blitt deponert, vil man i tillegg måtte grave det ut igjen fra deponiet.
- Det gjenstår å utvikle et konkret konsept og å dokumentere at det er trygt. Det vil kreve tid og penger. Sett i sammenheng med kostnadene for å bygge et deponi for høyradioaktivt avfall, er det tvilsomt om mekanisk forbehandling er tilstrekkelig billigere enn repressering eller oksidering til å lønne seg på sikt.

- Dersom prosessen for å etablere et deponi skulle trekke ut i tid eller slå feil (f.eks. på grunn av interessekonflikter knyttet til lokalisering), så vil midlertidig lagring være det eneste tilgjengelige oppbevaringsalternativet. Da vil man, som i dag, fortsatt ha brann- og eksplosjonsfaren som er forbundet med de 10 tonnene metallisk uran. Mekanisk forbehandling kan ikke fjerne den risikoen, men kun bøte på den.

Basert på dette, mener vi at mekanisk forbehandling alene ikke bidrar til å løse samfunnsmålet om forsvarlig oppbevaring av brukt brensel i et langsiktig perspektiv. Dette har betydning for avfallets restverdi i 2040, og begrunner restverdien som er lagt inn i de prissatte virkningene (jf. delkapittel 7.2.6).

Til tross for denne vurderinger, har NND parallelt med denne utredningen gjennomført to studier av hvordan metallisk brensel kan oppbevares, dersom man ikke gjennomfører kjemisk stabilisering. Den ene studien har vist at metallisk brensel kan oppbevares i opptil 20 år i én type oppbevaringsbeholder som Orano leverer. Det kan også finnes alternative leverandører, men det finnes altså minst én type cask som fungerer [47].

I den andre studien har et finsk-tysk konsortium av AINS, VTT og BGE-TEC i samarbeid med NND undersøkt hvordan KBS-3-konseptet kan tilpasses ubehandlet norsk brensel [48]. Foreløpige resultater indikerer at direkteponering med utgangspunkt i KBS-3 kan være mulig, men at det vil kreve en god del tilpasninger og supplerende analyser. Man må blant annet undersøke de kjemiske egenskapene til metallisk uran under de betingelsene som forventes i et deponi, og det må utvikles en ny type foring til kobberbeholderne, som det norske brenselet passer inn i. Deretter må det verifiseres at foringen sammen med beholderen overholder alle de øvrige designkriteriene til beholderen, som f.eks. at den kan motstå trykk, at den tåler å falle i bakken, at den er tett og at man kan ta røntgenbilder av den for å bevise at den er tett. Det kan også være behov for å pakke om brenselet i bunter som deretter plasseres i beholderen.

Borehullsdeponi er også et alternativ, dersom man velger å deponere brenselet uten kjemisk stabilisering.

7.3.1.2 Betydningen for deponering i fjellhall

Som forklart i kapittel 6.1, finnes det to deponikonsepter som kan passe for retur av høyradioaktivt avfall: fjellhaller og borehull. Atkins og Oslo Economics anslo i KS1-rapporten fra 2016 [2] at det ville koste 7 milliarder å etablere et fjellhalldeponi for høyradioaktivt avfall. Deres estimat var basert på kostnader for det finske deponiet, og omfattet 2.4 milliarder til planlegging, 3.5 milliarder til bygging og 1 milliard til forsegling. Dette var et svært enkelt overslag. Det er svært usikkert hva et eventuelt fjelldeponi vil koste. NND jobber sammen med eksterne rådgivere for å forberede mer detaljerte og dokumenterte kostnadsestimater. De forventes ferdigstilt i løpet av høsten 2020.

Både Orano og Studsvik produserer returavfall som kan deponeres i fjellhaller. I Studsviks tilfelle passer returavfallet rett inn i KBS-3-konseptet. Dersom oksidering fungerer, kan alt brukt brensel forberedes for deponering eller lagring hos Studsvik. Det inkluderer brensel som ikke kan reprosesserer, som thoriumoksid. Se kapittel 6.5.2. Etter behandlingen, er avfallet kjemisk stabilt og i kjemisk stabil kapsling. I tillegg er beholderne designet for å passe inn i innkapslingsanlegget som SKB skal bygge i Oskarshamn. Innkapslingsanlegget blir et avansert automatisert anlegg hvor kobberbeholderne fylles,

sveises igjen og tas røntgenbilde av for å verifisere at de er tette. Dersom norsk avfall kan innkapsles der, vil det spare både tid og penger, sammenlignet med å utvikle et separat innkapslingsanlegg.

Ulempen med Studsvik er at det produserer et litt større volum enn Orano. Mens behandling hos Studsvik medfører et behov for mellom 15 og 30 kobberbeholdere, vil repressering medføre et behov for ca. 8 beholdere. Det anses som sannsynlig at man kan tilpasse KBS-3 slik at man fyller kobberbeholderne med represseringsavfall i stedet for brukt brensel. NND skal undersøke dette nærmere videre i løpet av 2020. Kostnaden for hver enkelt beholder er ikke kjent, men et øvre tak kan estimeres ved å ta totalkostnaden for det finske deponiet (3500 MEUR) og dele på antall beholdere (2800), hvilket gir 1.3 MEUR, eller omtrent 13 MNOK per beholder [49]. Dette er et øvre estimat, fordi det legger til grunn at kostnaden per beholder er uavhengig av hvor stort deponiet er, men det er den ikke. I realiteten er kostnaden per beholder større jo færre beholdere som inngår i deponiet, på grunn av stordriftsfordeler. I verste fall er forskjellen i antall beholdere for returavfall fra hhv. Studsvik og Orano $30 - 8 = 22$ beholdere. Forskjellen i kostnader blir med dette regnestykket $22 \text{ beholdere} \cdot 13 \text{ MNOK/beholder} = 286 \text{ MNOK}$. Sammenlignet med estimatene for og usikkerheten i totalkostnadene for behandling og deponering, er dette lite. Differansen forbundet med avfallsvolum er derfor med dagens kunnskap for liten til å avgjøre valg av behandlingsløsning, særlig siden muligheten for å kunne bruke SKBs innkapslingsanlegg kan redusere kostnadene for en totalløsning der Studsvik-alternativet inngår.

7.3.1.3 Betydningen for deponering i borehull

Mange forskningsartikler har gjort rede for at kostnadene for å bygge, drifte og forsegle et borehullsdeponi kan være vesentlig lavere enn for et fjellhalldeponi, særlig for land med relativt små mengder høyradioaktivt avfall, slik som Norge [3, 29, 32, 35, 38]. Derfor er det viktig å vurdere hvorvidt valg av behandlingsløsning har noe å si for hvilke deponikonsepter som kan brukes.

Størrelsen til hver enkelt beholder og antall beholdere med returavfall har mest å si for om de kan deponeres i borehull. Størrelsene og antall er vist i Tabell 9. Deponering av høyradioaktivt returavfall fra repressering krever et bredere borehull enn av returavfall fra Studsvik, fordi Oranos beholdere er større. NNDs pågående utredninger av bl.a. boreteknologi viser at det er mulig å bore brede nok hull til at represseringsavfall kan få plass. For eksempel kan borehull med 66 cm diameter og omtrent 2000 meter dybde bores i granitt ved hjelp av eksisterende boreteknologi. Det betyr at man får plass til represseringsavfall, selv om avfallet omsluttes av en ytterbeholder med flere cm tykke vegger. Av samme grunn kan både høyradioaktivt returavfall og mellomradioaktivt returavfall deponeres i både fjellhaller og borehull. Både alternativ a, b og c kan gi altså returavfall som kan deponeres i borehull.

Tabell 9: Oversikt over antall avfallsbeholdere og totalt avfallsvolum etter behandling hos hhv. Orano og Studsvik.

	Størrelse på beholder	Anslått antall beholdere	Totalt volum (m ³)
Repressering med retur av høyradioaktivt avfall	Volum: 0.183 m ³ Diameter: 0.43 m Lengde: 1.335 m	8	1.5
Repressering med retur av mellomradioaktivt avfall	0.183 m ³ Diameter: 0.44 m Lengde: 1.335 m	500	92
Oksidering og utskifting av kapsling	Volum: 0.012 m ³ Diameter: 0.11 m Lengde: 1.3 m	500	6

7.3.1.4 Konklusjon om betydningen for deponering

Basert på dagens informasjon er det vanskelig å si om behandling hos Studsvik eller Orano totalt sett gir størst fordeler for videre oppbevaring. Det er fordeler og ulemper ved hvert behandlingsalternativ. Disse vises i Tabell 10. Det er imidlertid ingen tvil om at mekanisk forbehandling er uhensiktsmessig.

Tabell 10: Denne tabellen viser i hvilken grad kombinasjoner av behandlingsmetoder og oppbevaringskonsepter er realiserbare og kan løse samfunnsmålet.

	Midlertidig lagring	Deponering i fjellhall	Deponering i borehull
Mekanisk forbehandling	Mulig, men det medfører vedvarende brann- og eksplosjonsfare. Høyere risiko for ekstremhendelser enn dersom repressering eller oksidering utføres.	Kun mulig dersom man legger til grunn en liberal tolkning av IAEAs retningslinjer og utvikler et nytt/modifisert deponikonsept	Kun mulig dersom man legger til grunn en liberal tolkning av IAEAs retningslinjer.
Orano	Svært moden teknologi, men ikke en permanent løsning.	Moden teknologi Fordel: Gir færre beholdere og mindre avfallsvolum enn Studsvik. Ulempe: Krever en (trolig enkel) modifikasjon av deponikonseptet KBS-3	Fordeler: Færre beholdere og ingen risiko for kritikalitet. Ulemper: Bredere beholdere (Ø=43 cm) krever bredere borehull enn ved oksidering (Ø=10 cm). Et konsept kan likevel sannsynligvis utvikles, basert på eksisterende boreteknologi
Studsvik	Svært moden teknologi, men ikke en permanent løsning	Moden teknologi Fordel: Kompatibelt med KBS-3, inkludert innkapslingsanlegg. Ulempe: Større volum enn ved repressering	Kan sannsynligvis utvikles, basert på eksisterende teknologi.

7.4 Ikke-prissatte virkninger

Nytten av å innfri samfunnsmålet og effektmålene vurderes som større enn kostnadene som er beregnet. Norge har også internasjonale forpliktelser som krever en forsvarlig behandling av radioaktivt avfall. Videre i dette delkapitlet vurderer vi andre ikke-prissatte virkninger av alternativene.

7.4.1 Sikkerhet, miljø, teknologisk modenhet og forutsigbarhet

7.4.1.1 Alternativ 0 – Fortsatt midlertidig lagring

Fortsatt midlertidig lagring løser ikke samfunnsmålet om å etablere en langsiktig oppbevaringsløsning (kapittel 1.1.3). Et midlertidig lager vil ha en levetid på 50-100 år. Vi anser ikke det som et langsiktig perspektiv når det gjelder høyradioaktivt avfall, som er farlig i flere hundre tusen år.

Fortsatt midlertidig lagring uten kjemisk forbehandling innebærer en videreføring av risikoene (brann og eksplosjon i tillegg til de nukleære risikoene) forbundet med midlertidig lagring av kjemisk ustabil brensel. På lang sikt kan korrosjon forverre risikoene for brann og eksplosjon. En brann eller eksplosjon i et brenselager ville vært en ekstremulykke (svært alvorlig konsekvens, men svært lav sannsynlighet). Behandling hos Orano og hos Studsvik medfører også risikoer for ekstremulykker. For eksempler kan det begge steder oppstå ulykker som fører til brann eller utilsiktet kritikalitet. Vår vurdering er imidlertid at selvantent brann eller eksplosjon i et midlertidig lager for metallisk uran er den minst kontrollerbare risikoen blant de mulige ekstremhendelsene, på tvers av de ulike konseptene. Blant ulykkesscenarioene med høy konsekvens, er dette det som har høyest sannsynlighet, som er mest uforutsigbart og som er vanskeligst å forebygge mot. Brann- og eksplosjonsfaren knyttet til metallisk uran vil vedvare all den tid brenselet oppbevares i et lager. Det finnes mange eksempler på branner og eksplosjoner ved lagre for metallisk uran [18]. Risikoen vil vedvare i uoverskuelig fremtid og kreve kontinuerlig ivaretagelse av kompetanse og utsyr over flere generasjoner, mens hos Orano eller Studsvik ville risikoene være avgrenset til bare de få årene det vil ta før det ustabile brenselet har blitt behandlet. Etter at brenselet eventuelt har blitt behandlet hos Orano eller Studsvik, er risikoen for selvantent brann eller eksplosjon fjernet. Vi vurderer derfor en videreføring av midlertidig lagring av kjemisk ustabil brensel som det scenarioriet med høyest risiko for ekstremulykker (svært alvorlig konsekvens, men svært lav sannsynlighet).

Det er usikkert om DSA tillater at brenselet ikke behandles overhodet. I så tilfelle er ikke nullalternativet et reelt alternativ fram til 2040. Uten godkjenning må ett av de andre alternativene velges, eller så må det utvikles et nytt konsept. Vi vurderer det som sannsynlig at nullalternativet vil kunne godkjennes fram til 2040, men med en stor usikkerhet med tanke på godkjenning for videreføring etter 2040. Dette er også grunnen til den negative restverdien som er anslått for dette alternativet i 2040. Nye, bedre og mer kostnadseffektive løsninger kan dukke opp, men kostnadene ved å ivareta avfallet på lang sikt kan også øke.

7.4.1.2 Alternativ a og b – Reprosessering

Orano har drevet med reprosessering i La Hague siden 1966, uten alvorlige ulykker. De reprosesserer omtrent 1700 tonn brukt brensel i året [50]. Driften medfører rutinemessige utslipp av radioaktivitet. Disse blir nøye overvåket og vurdert. *Effektiv dose til en representativ person* er det beste målet på hvor alvorlige disse utslippene er. Effektiv dose til en representativ person er et mål på hvor stor stråledose en person i verste fall kan få, som konsekvens av utslippene, gitt antagelser om f.eks. rikelig inntak av sjømat fra områdene rundt La Hague. Ifølge OSPAR-kommisjonen¹ er effektiv dose fra La Hague til en representativ person 0.003 mSv [51], hvilket tilsvarer mindre enn en promille av den gjennomsnittlige årlige stråledosen i Norge [52]. Vi anser derfor de rutinemessige utslippene fra Orano som forsvarlige og ikke noe sterkt argument imot å reprosessere det norske brenselet.

Fordi Orano i mange år har reprosessert store mengder brensel, er reprosessering en svært pålitelig teknologi. Det er fastsatt konkrete kvalitetskrav for det høyradioaktive og mellomradioaktive avfallet som kommer ut av prosessen.. Det gir forutsigbare forhold for utviklingen av oppbevaringsløsninger for avfallet.

¹ OSPAR er et samarbeidsorgan for 15 europeiske stater, inkludert Norge, som har til hensikt å beskytte det marine miljøet i Nordøst-Atlanteren.

Anlegget i La Hague er et stort industrielt anlegg, hvor store mengder nukleært avfall behandles og oppbevares. Det er derfor en risiko for ekstremhendelser der, for eksempel brann og eksplosjon med utslipp av store mengder radioaktivitet. Anlegget er imidlertid underlagt strenge sikkerhetskrav og de franske myndighetene er på hyppige inspeksjoner. Vår vurdering er derfor det er svært lav sannsynlighet for alvorlige ulykker.

7.4.1.3 Alternativ c – Oksidering og utskifting av aluminiumskapsling

Behandling hos Studsvik innebærer å etablere et småskalaanlegg tilpasset det norske brenselet. Det må gjøres nye sikkerhetsvurderinger og utformes nye rutiner. Mangelen på driftserfaring kan ha noe å si for sikkerheten, men TUV-Nord vurderte oksidering som en tilstrekkelig moden teknologi allerede i 2017 [3]. Studsvik har videreutviklet konseptet siden den gang. I tillegg har Studsvik erfaring med å håndtere brukt brensel av metallisk uran fra den svenske R1-reaktoren. Sikkerheten vil måtte dokumenteres og verifiseres av svenske Strålsikkerhetsmyndigheten før, under og etter behandlingen gjennomføres.

Studsviks behandlingstilnærning er mindre teknologisk moden enn reprosessering. Dette er hensyntatt i kostnadsestimeringen og usikkerhetsanalysen og er beskrevet i avsnitt 7.2.3.

En annen mulig risiko er at Studsvik kan gå konkurs. Mens Orano er en svært stor industrivirksomhet med statlig aksjemajoritet, er Studsvik en mindre og mer økonomisk sårbar virksomhet med private aksjonærer. Studsviks årlige salgsinntekter er på omtrent 250-300 millioner svenske kroner, mens Orano sine er på omtrent 4 milliarder euro. Dersom man velger å behandle brenselet hos Studsvik, og Studsvik skulle gå konkurs før behandlingen er fullført, ville reprosessering være det eneste gjenværende alternativet. Det er imidlertid en tilleggsrisiko for at Orano da ikke lenger tilbyr reprosessering. I så fall ville det ikke finnes noen kommersielle tjenesteytere som kunne ha stabilisert det norske brenselet. I tillegg ville Norge allerede ha brukt tid og penger på å forsøke å realisere Studsvikløsningen. Dette er en hendelsesrisiko med alvorlig konsekvens. Sannsynligheten for at Studsvik skal gå konkurs er imidlertid svært lav, fordi at dersom Studsvik inngår en avtale med den norske staten om å behandle alt det norske brukte brenselet, så er det en avtale som i seg selv tilsvarer omtrent ti ganger så mye som Studsviks nåværende årlige inntekter. Gitt at Studsvik kan gjennomføre behandlingen som tenkt og med tilstrekkelige marginer, vil derfor en eventuell avtale med Norge langt på vei hindre at Studsvik går konkurs.

7.4.1.4 Alternativ d – Mekanisk forbehandling

Mekanisk forbehandling er i seg selv en moden teknologi. Problemet er, som forklart i kapittel 7.3.1.1, at mekanisk forbehandling ikke løser samfunnsproblemet om å legge til rette for trygg oppbevaring av radioaktivt avfall i et langsiktig perspektiv.

7.4.1.5 Oppsummering av gjennomføringsrisikoer

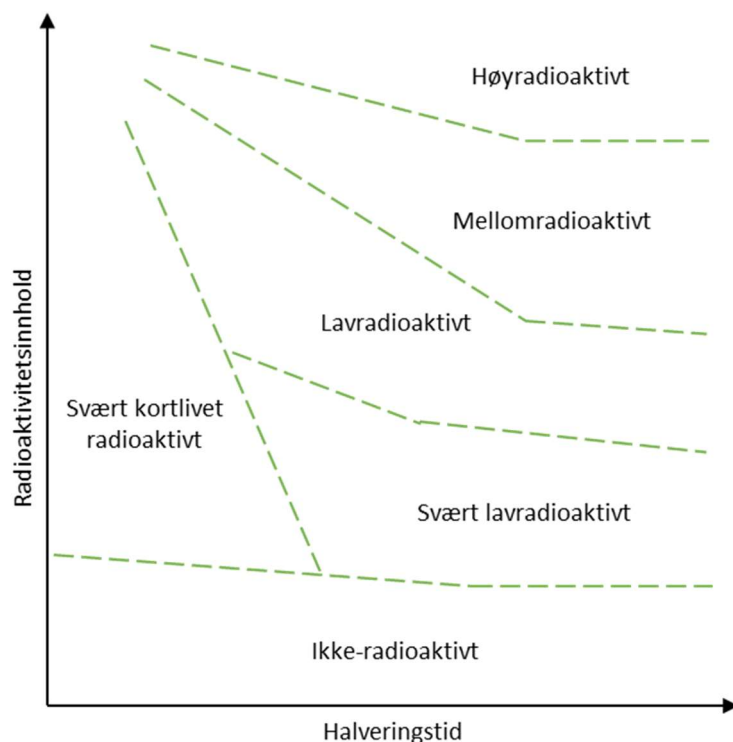
Tabell 11 oppsummerer de viktigste risikoene i prosjektet. En felles risiko for alle konseptene er at anleggsspesifikk kompetanse i Halden eller på Kjeller kan gå tapt, som følge av bl.a. naturlig avgang. Personell som er trent til å håndtere brukt brensel er særlig viktig. De kjenner anleggene, brenselet og utstyret. Dersom de slutter i jobbene sine, kan de erstattes av innleid personell fra utlandet, men innleid personell vil måtte bruke opp mot et par år på å sette seg inn i anlegg, utstyr og risiko. Et risikoreduserende tiltak i denne sammenhengen er å transportere ut brenselet så snart som mulig.

Tabell 11: Oppsummering av de alvorligste gjennomføringsrisikoene for hhv. 0-alternativet (fortsatt midlertidig lagring), repressering (a og b), oksidering og utskifting av aluminiumskapsling hos Studsvik (c) og mekanisk forbehandling (d). Her har vi antatt at mekanisk forbehandling gjennomføres hos Studsvik. Grå fargekode betyr at risikoen ikke er relevant for konseptet.

Risikohendelse	Drøfting	0	a	b	c	d
Deponering av kjemisk ustabil brensel tillates ikke	Sannsynlighet: Høy. Konsekvens: Alvorlig, fordi konseptet ikke løser samfunns målet.	Grå	Grå	Grå	Grå	Rød
Fortsatt midlertidig lagring av kjemisk ustabil brensel tillates ikke	Sannsynlighet: Lav Konsekvens: Alvorlig, fordi konseptet ikke kan gjennomføres	Yellow	Grå	Grå	Grå	Yellow
Innregulering av tomt for et nytt midlertidig lager trekker ut i tid.	Sannsynlighet: middels Konsekvens: middels	Yellow	Grå	Grå	Grå	Grå
Politiske myndigheter og strålevernsmyndigheter i Norge, Frankrike eller Sverige tillater ikke eksport/import	Sannsynlighet: Svært lav Konsekvens: Alvorlig, fordi konseptet ikke kan gjennomføres	Grå	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Oppskalering fra laboratorieskala lykkes ikke	Sannsynlighet: lav Konsekvens: Svært alvorlig, fordi konseptet ikke kan gjennomføres og allerede påløpte kostnader går tapt	Grå	Grå	Grå	Yellow	Grå
Det oksiderte produktet overholder ikke kravene for deponering iht. KBS-3-konseptet. Oksidering er pr. i dag ikke moden nok.	Sannsynlighet: Lav. Konsekvens: Svært alvorlig, fordi konseptet ikke kan gjennomføres og allerede påløpte kostnader går tapt.	Grå	Grå	Grå	Yellow	Grå
Tjenesteyter går konkurs	0-alternativet: Flere tjenesteytere. a, b, c og d: se kapittel 7.4.1.3.	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
Tap av anleggsspesifikk kompetanse	Sannsynlighet: Lav Konsekvens: Middels	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow

7.4.2 Valg av type returavfall fra repressering

For å drøfte de strategiske avveiningene rundt valg av alternativ a eller b, er det nyttig å gjøre rede for de ulike kategoriene for radioaktivt avfall. IAEA deler radioaktivt avfall inn i kategorier basert på hvordan det kan deponeres. Som Figur 10 viser, er halveringstid og innhold av radioaktivitet de viktigste faktorene. I tillegg vektlegges innhold av alfautsendende radionuklider mer enn beta- og gammautsendende.



Figur 10: Forenklet klassifisering av radioaktivt avfall. Gjentegnet fra [53]. Langlivet radioaktivt avfall er en underkategori av mellomradioaktivt avfall. Den representerer den høyre delen av området for mellomradioaktivt avfall i figuren.

IAEA anvender seks ulike avfallskategorier [53]:

- **Ikke-radioaktivt avfall** inneholder så lave konsentrasjoner av radioaktivitet at det kan håndteres innenfor lovverket for ordinært avfall.
- **Svært kortlivet radioaktivt avfall** inneholder radionuklider med tilstrekkelig kort halveringstid til at det kan lagres trygt inntil radioaktivitetskonsentrasjonene har henfalt til under grenseverdiene. Lagring i opptil noen få år anses som rimelig [54].
- **Svært lavradioaktivt avfall** inneholder så vidt nok radionuklider til å kunne klassifiseres som radioaktivt. Slikt avfall oppstår som regel i store mengder under dekommisjonering av nukleære anlegg. Overflatedeponi kan være en egnet løsning for svært lavradioaktivt avfall.
- **Lavradoaktivt avfall** inneholder høyere radioaktivitetskonsentrasjoner enn svært lavradioaktivt avfall. Innholdet av langlivede radionuklider (halveringstid lenger enn 30 år) skal være lavt nok til at radioaktiviteten er ufarlig etter noen hundre år. Overflatedeponier eller fjellhaller nær overflaten (mindre enn omtrent 30 meter under bakken) er egnet for lavradioaktivt avfall.
- **Mellomradioaktivt avfall** inneholder høyere konsentrasjoner av langlivede radionuklider enn lavradioaktivt avfall eller høye konsentrasjoner av kortlivede nuklider. Konsentrasjonen av langlivede alfautsendere brukes i noen land som et kriterium for å skille mellom lav- og mellomradioaktivt avfall. Der har man satt grensa ved 4000 Bq/g for individuelle avfallskolli og 400 Bq/g i gjennomsnitt for alt avfall i deponiet. Deponier for mellomradioaktivt avfall bør ligge mellom noen titalls og noen hundretalls meter under bakken, for å beskytte deponiet mot erosjon på mellomlang sikt, samt redusere sannsynligheten for menneskelig inntrengning i deponiet.
- **Høyradioaktivt avfall** inneholder radioaktivitet med konsentrasjoner og halveringstid som gjør at det må deponeres flere hundre meter under overflaten for å ivareta langsiktig sikkerhet.

Brukt brensel og avfall fra repressering av brukt brensel hører som regel til denne kategorien.

IAEAs kategorier er ikke innarbeidet i det norske regelverket, som derimot kun opererer med kategoriene ikke-radioaktivt avfall, ikke-deponeringspliktig radioaktivt avfall og deponeringspliktig radioaktivt avfall¹. DSA sin praksis er imidlertid at IAEA og andre relevante internasjonale retningslinjer legges til grunn for vurdering av søknader om tillatelser og konsesjoner. Derfor kan man ta utgangspunkt i internasjonale retningslinjer når man utvikler og vurderer norske anlegg for behandling eller oppbevaring av radioaktivt avfall.

Kombinert lager og deponi for radioaktivt avfall (KLDRA) er Norges eneste deponi for menneskeskapt radioaktivt avfall. Det ligger i Himdalen i Aurskog-Høland. Anleggets tillatelse iht. forurensningsloven setter følgende kriterier for hva slags avfall det kan ta imot:

1. Mottatt avfall skal være solidifisert og emballert.
2. Innholdet av langlivede alfautsendende radionuklider skal ikke overstige 4000 Bq/g i en enkelt avfallsbeholder, og ikke overstige 400 Bq/g for gjennomsnittet av deponert radioaktivt avfall
3. Avfallskolliene skal kunne transporteres som type A kolli eller som materiale med lav spesifikk aktivitet (LSA) i henhold til landtransportforskriften ADR(RID).
4. Varmeutviklingen i avfall på deponeringstidspunktet skal ikke overskride 2 kW/m³
5. Virksomheten skal ikke deponere NORM-avfall, ammoniumnitrat, sterke enkeltkilder, radiumnåler eller brukt brensel.
6. Det skal ikke være deponert avfall i anlegget som 300 år etter nedleggelse kan føre til at:
 - a. Mest utsatte individ blir utsatt for en stråledose på mer enn 1 µSv/år ved sannsynlige scenarioer
 - b. For andre scenarioer skal mest utsatte individ ikke kunne bli utsatt for en stråledose på mer enn 100 µSv/år.

Når man sammenligner denne listen – og særlig punkt 2 og 6 – med IAEAs klassifiseringsmetode [53], er det tydelig at KLDRA Himdalen først og fremst har tillatelse til å ta imot lavradioaktivt avfall.

Orano har bedt om at noe informasjon, blant annet den nøyaktige konsentrasjonen av langlivede radionuklider i metallisk mellomradioaktivt avfall, ikke offentliggjøres i denne omgang, begrunnet med hensyn til konkurranseforhold, immaterielle rettigheter og sikkerhet. NND har likevel fått innsyn i konsentrasjonene. Konsentrasjonen av langlivede alfautsendende radionuklider er flere størrelsesordener over grensa for hva som kan deponeres i KLDRA Himdalen (punkt 2 i lista over kriterier). Derfor kan ikke mellomradioaktivt radioaktivt avfall fra repressering deponeres i KLDRA Himdalen eller et deponi med de samme mottakskriteriene. Dersom man skulle velge å få mellomradioaktivt radioaktivt avfall i retur fra repressering, så kan man altså bygge et nytt deponi, som er bygget for å ta imot mellomradioaktivt returavfall og som har tillatelse til å gjøre det.

Norge har uansett behov for å bygge et nytt deponi for mellomradioaktivt avfall som ikke kan deponeres i Himdalen. Dette omfatter:

- Avfall som i dag lagres hos IFE på Kjeller fordi det ikke overholder mottakskriteriene til Himdalen

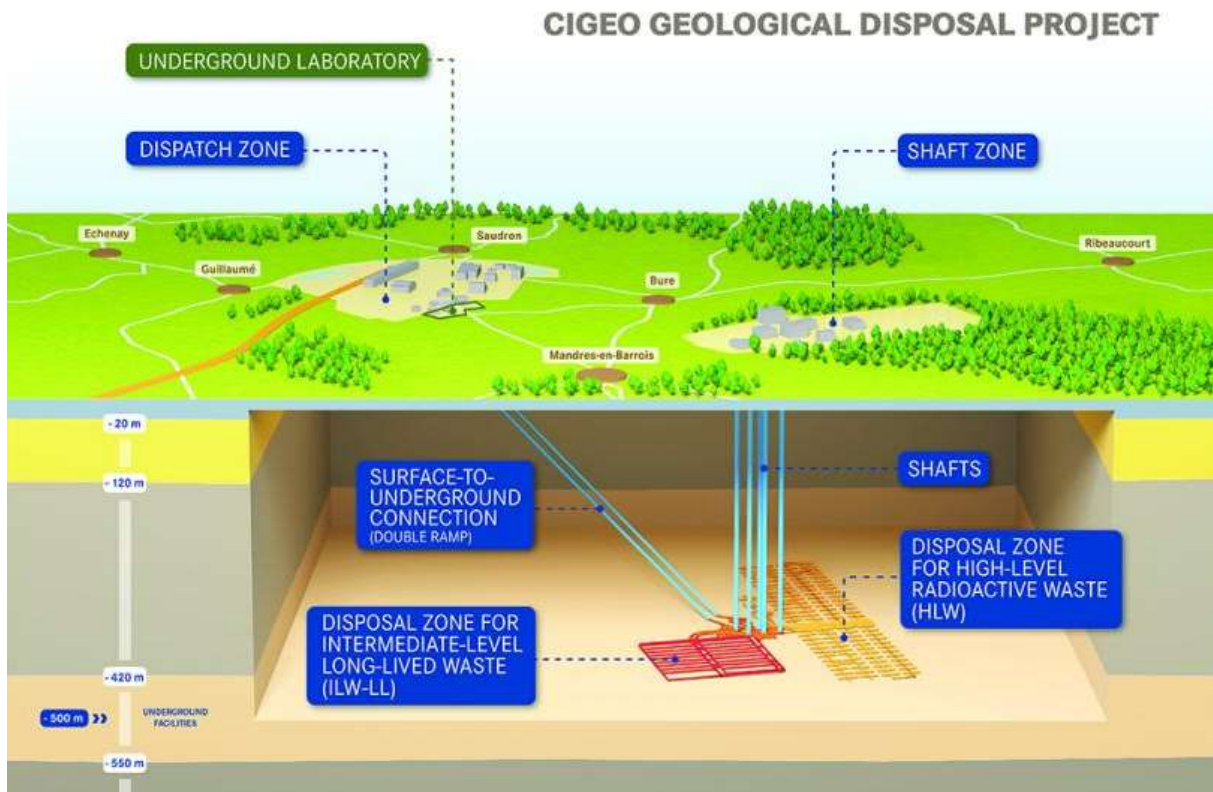
¹ Vedlegg I til forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall

- 166 tønner med plutoniumholdig jord, som i dag lagres lagerdelen i Himdalen
- Omtrent 1000 tonn mellomradioaktivt dekommisjoneringsavfall, hvorav noe muligens overholder mottakskriteriene i Himdalen. Den totale mengden og hvor mye som kan deponeres i Himdalen avhenger både av hvor radioaktivt forurenset de nukleære anleggene er og hvordan avfallet behandles før det deponeres. Radiologisk kartlegging og planlegging av behandlingsmetoder vil forbedre estimatene for hvor mye mellomradioaktivt dekommisjoneringsavfall som vil måtte deponeres og hvor mye av det som eventuelt kan samsvare med KLDRAs mottakskriterier [55].

Mellomradioaktivt returavfall fra repressering ville ha utgjort et lite volum, sammenlignet med Himdalens kapasitet. Orano har indikert at det ville være snakk om omtrent 500 beholdere på 183 liter hver, tilsvarende 436 tønner med 210 liter volum. Til sammenligning har Himdalen tillatelse til å ta imot totalt 10 000 tønner med 210 liter volum.

Vår vurdering er imidlertid at det mellomradioaktive avfallet fra repressering trolig er vesentlig mer radioaktivt enn noe norsk radioaktivt avfall, unntatt brukt brensel. Mellomradioaktivt represseringsavfall ville i så fall ha satt betingelsene for hvordan et eventuelt nytt deponi måtte utformes. For eksempel kan det hende at deponiet må ligge dypere i bakken enn dersom det kun skulle ta imot mellomradioaktivt avfall som allerede eksisterer eller som oppstår under dekommisjonering. I Frankrike skal mellomradioaktivt avfall fra repressering deponeres like dypt som høyradioaktivt vitrifisert avfall, men det kommer av at de planlegger å bygge et felles deponi for de to avfallstypene inni et naturlig leirelag som ligger mellom 420 og 550 meter under bakken (Figur 11). På den måten kan de samme sjaktene og tunnelene til overflaten benyttes for begge typer avfall. De respektive avfallstypene skal deponeres i hver sin del av anlegget.

Å få mellomradioaktivt avfall i retur er kun en fordel dersom alt det brukte brenselet kan sendes til behandling hos Orano, og kun mellomradioaktivt avfall sendes i retur. I så fall vil Norge ikke ha noe høyradioaktivt avfall (Brukt brensel er den eneste forventede kilden til høyradioaktivt avfall. Dekommisjonering vil ikke produsere høyradioaktivt avfall). For at Norge skal kunne få i retur kun mellomradioaktivt avfall, må Orano lykkes med å utvikle den alternative behandlingsprosessen smelting og vitrifisering (Dem&Melt), den må kunne brukes på alt brenselet som ikke kan represseres, og den må kunne produsere mellomradioaktivt avfall, ikke høyradioaktivt avfall. Dette vurderer vi som usannsynlig.



Figur 11: Skisse av det planlagte franske deponiet for høyradioaktivt (HLW) og mellomradioaktivt (ILW-LL) avfall. Fra Andra [56]. Trykket med tillatelse fra Andra.

Oppsummert, er retur av mellomradioaktivt avfall kun fordelaktig dersom alle de følgende betingelsene er oppfylt:

- Returnert mellomradioaktivt avfall må være billigere og enklere å oppbevare på en trygg måte enn høyradioaktivt returavfall,
- Oranos alternative prosess for smelting og vitrifisering må bli ferdigutviklet i løpet av de neste årene, slik at den kan brukes på norsk brensel
- Smelting og vitrifisering må kunne brukes for behandling av alt brenselet som ikke kan reprocesseres, og
- Smelting og vitrifisering må produsere mellomradioaktivt avfall, ikke høyradioaktivt avfall

Alle disse betingelsene er svært usikre, så at de alle skulle slå til er svært usannsynlig. Vår vurdering er derfor at i sum så er det usannsynlig at retur av mellomradioaktivt avfall er hensiktsmessig. Fordelene med å få tilbake et mindre antall beholdere med kun høyradioaktivt avfall er:

- Mindre volum gir mindre transport og gjør at et midlertidig lager eller deponi trenger mindre kapasitet
- Antallet enkeltoperasjoner, som for eksempel løft og forflytninger av avfallsbeholdere, reduseres, dersom man får færre avfallsbeholdere. Det reduserer den totale sannsynligheten for en ulykke under løft eller forflytning.
- Logistikk, prosedyrer og sikkerhetsvurderinger blir enklere dersom man kun har én type avfall, enn om man har flere. Det er derfor bedre å få kun høyradioaktivt avfall enn både høyradioaktivt og mellomradioaktivt.

Derfor anbefaler vi at dersom man velger å behandle brenselet hos Orano, så bør man i utgangspunktet velge å få høyradioaktivt avfall i retur, ikke mellomradioaktivt avfall. Hvis valget om type returavfall kan utsettes, så bør man vurdere å undersøke de nevnte usikkerhetene videre.

7.4.3 Ikke-radiologiske miljøhensyn

Alle alternativene forventes å ha omtrent lik miljøpåvirkning i form av energibruk, arealforbruk, drivhusgassutslipp og lignende. I den grad det er noen forskjell mellom alternativene, anslår vi at forskjellen er uvesentlig, sammenlignet med de øvrige risikoene og kostnadene.

7.4.4 Transportbehov

Transport av radioaktivt materiale innebærer en risiko, men den risikoen er svært godt kontrollert gjennom det internasjonale reglementet for transport av farlig gods (ADR for veitransport, RID for jernbanetransport, IMDG for havtransport). Regelverket stiller strenge krav til bl.a. fysisk sikring, kompetanse, rutiner, dokumentasjon og utforming og sertifisering av transportbeholdere. Til sammen reduserer disse tiltakene både sannsynligheten for og konsekvensene av eventuelle hendelser under transport. Disse kostnadene er også langt på vei hensyntatt i de prissatte virkningene.

Det kan bli behov for transport i nullalternativet, med mindre brenselet som lagres i Halden i dag fortsatt lagres der, og brenselet som lagres på Kjeller lagres der. Transportbehovet kan oppstå dersom alt brenselet samlokaliseres i ett lager, eller dersom noe av brenselet flyttes fra Kjeller til Halden eller andre veien.

Dersom brenselet sendes til Studsvik, vil det gjøres ved at en beholder med relativt lite brensel transporteres med lastebil 150-200 ganger gjennom sørlige Sverige (se kartet i Figur 6). Dersom brenselet sendes til Orano, vil det lastes i omtrent 10 transportbeholdere som først kjøres med lastebil til en havn i Viken, og deretter transporteres med skip til La Hague. Vi vurderer begge transportkonseptene som trygge og forutsigbare, med en liten fordel for Orano, siden færre transporter kan redusere sannsynligheten for at det skjer en ulykke.

For både Orano og Studsvik er det anslått at det vil ta 4-6 år å flytte alt brenselet fra dagens lagre til der hvor behandlingen skal finne sted. Transportkostnadene skal være hensyntatt i de prissatte virkningene. De eksterne kostnadene for miljø og veibruk er internalisert gjennom veibruk og til dels bompenger. Transport er derfor ikke tillagt noen vesentlig betydning i vurdering av ikke prissatte virkninger.

7.4.5 Opplevd trygghet

Brukt brensel og annet radioaktivt avfall er farlige stoffer som kan gjøre folk bekymret. Det er ikke nødvendigvis slik at rent faglige vurderinger sammenfaller med hva andre interessenter oppfatter som gode løsninger. I dette delkapittelet prøver vi å vurdere hvordan de ulike alternativene kan oppleves av interessenter.

Opplevd trygghet for fortsatt midlertidig lagring eller mekanisk forbehandling vurderes som dårlig. Det skyldes at:

- Faglige vurderinger siden Berganutvalget har pekt på risikoene ved oppbevaring av metallisk uran.
- Risikoene ved å lagre metallisk uran har blitt offentlig kjent gjennom bl.a. medieoppslag [57].

- Langsiktig lagring eller deponering av metallisk uran er faglig kontroversielt. Det kan medføre en offentlig debatt der fagfolk er splittet i synet på om sikkerheten kan ivaretas. Det vil bidra til usikkerhet blant folk flest.

Det er betydelig politisk motstand mot repressering. Det tydeligste eksempelet på dette er et opprop som Norges naturvernforbund, Greenpeace, Verdens naturfond (WWF), Fremtiden i våre hender, Lofoten mot Sellafield, Norges miljøvernforbund, til atomvåpen og Internasjonal kvinneliga for fred og frihet skrev i protest mot Strandenutvalgets anbefaling om å repressere det norske brenselet [58]. Organisasjonenes hovedargumenter mot repressering var:

- Risikoen under transport til La Hague
- Utslippene under repressering, produksjon av sekundæravfall under repressering
- At en beslutning om å repressere norsk brukt brensel ville undergrave Norges politikk om at det britiske represseringsanlegget i Sellafield burde stenges

Organisasjonene mente at det i stedet burde bygges et nytt mellomlager for å oppbevare brenselet mens muligheten for å deponere metallisk uran ble utredet. Dette er altså motsatt av vår vurdering av risikoer og betydningen av de rutinemessige utslippene fra La Hague.

Flere av interesseorganisasjonene gjentok sin motstand mot repressering i en artikkel i Teknisk Ukeblad 7. februar 2020 [59]. I samme artikkel sier Nei til atomvåpen at behandling i Studsvik «er langt å foretrekke». Derfor kan behandling hos Studsvik være mindre kontroversielt enn repressering.

Dersom brenselet sendes til repressering, kan det heve konfliktnivået rundt ikke bare brukt brensel, men også den større problemstillingen som i tillegg omfatter dekommisjonering av IFEs anlegg og opprettelsen av et nytt deponi for radioaktivt avfall. Det skyldes at det langt på vei er de samme interesseorganisasjonene som er interessert i alle tre temaene. Å forsøke å skape et felles samarbeid mellom alle interessenter er særlig viktig når det gjelder etablering av et nytt deponi. De politiske prosessene utgjør den aller største usikkerheten i den sammenheng. Så hvis brenselet sendes til repressering så risikerer man at den politiske prosessen for å etablere et nytt deponi for radioaktivt avfall blir vanskeligere.

7.5 Samlet vurdering og anbefaling

Tabell 12 oppsummerer resultatene fra den samfunnsøkonomiske analysen. Tabellen viser prissatte og ikke-prissatte virkninger vurdert i forhold til nullalternativet. I nullalternativet behandles ikke avfallet, men det plasseres i godkjente lagrings/transportbeholdere. Det er usikkerhet om denne løsningen kan videreføres eller oppgraderes til en mer langsiktig mellomlagringsløsning etter 2040. Vi har lagt til grunn at avfallet må behandles for å sikre en langsiktig oppbevaring i tråd med samfunns målet. Alternativet har derfor en høy negativ restverdi som reflekterer nåverdien av forventede behandlingskostnader i 2040. På den andre siden har nullalternativet en positiv realopsjon i form av at det kan komme nye løsninger som kan gjøre det mulig å behandle avfallet eller deponere det til en lavere kostnad enn kjente løsninger i dag gir. Det er imidlertid også en risiko for at løsningene som er tilgjengelige i dag, ikke vil være det i fremtiden.

Samtlige behandlingalternativer med kjemisk behandling (alternativ a, b og c) framstår som gode løsninger. Løsningene imøtekommer samfunns- og effektmålene ved at returavfallet er egnet for en forsvarlig, langsiktig oppbevaring (deponi eller lagring). De framstår også som samfunnsøkonomiske

lønnsomme, med forbehold om usikkerhet ved nullalternativets realopsjoner som ikke er verdsatt. Alternativene er fremdeles under utvikling. Basert på nåværende kunnskap er det ikke mulig å rangere alternativene. Det anbefales derfor en trinnvis utvikling der samtlige tre alternativ tas med til neste trinn. Tidsvinduet for alternativene tilsier at det bør fattes en beslutning og gjøres et konseptvalg etter neste trinn, og at det bør gjøres basert på kostnadsforhandlinger og spesifikasjoner ved løsningsalternativene som reduserer usikkerheten. Konseptvalget bør fattes i senest i løpet av 2021.

Tabell 12: Oppsummering av den samfunnsøkonomiske analysen

	Alternativ a	Alternativ b	Alternativ c	Alternativ d
Prissatte virkninger				
Investeringskostnader (Transport, forbehandling, behandling)	1 387	1 387	1 433	545
Drift-, vakt-, og sikringskostnad i Norge	-346	-346	-346	-346
Restverdi (nåverdi av anslått avfallskostnad i 2040)	-3 051	-3 051	-3 051	0
Skattefinansieringskostnad	-402	-402	-393	40
Sum prissatt kostnad (netto)	-2 412	-2 412	-2 357	238
Ikke prissatte virkninger				
Realopsjoner	Svak negativ, nær null. Alle lagrings-løsninger er mulige, returavfallet leveres i avtalt form og tilstand. Nullalternativet har fleksibilitet til å kunne velge ev. nye teknologier som kan redusere restverdien i nullalternativ.	Svak negativ, nær null. Alle lagrings-løsninger er mulige, returavfallet leveres i avtalt form og tilstand. Nullalternativet har fleksibilitet til å kunne velge ev. nye teknologier som kan redusere restverdien i nullalternativ.	Svak negativ, nær null. Alle lagrings-løsninger er mulige, returavfallet leveres i avtalt form og tilstand. Nullalternativet har fleksibilitet til å kunne velge ev. nye teknologier som kan redusere restverdien i nullalternativ.	Positiv Nye konsepter for oppbevaring kan utvikles som gjør direkteponi etter mekanisk behandling mulig. Utredninger tilsier at det kan være mulig i dag, men usikkerhet om regelverket tillater det. Potensial for betydelig reduksjon i anslått negativ restverdi.
Volum og kostnadskonsekvenser for lagringskonsept	8 beholdere, totalt volum 1.5 m3	500 beholdere, totalt volum 92 m3	500 beholdere, totalt volum 6 m3	n/a
Måloppnåelse og ikke prissatt nytte				
Samfunns mål, forsvarlig behandling i et langsiktig perspektiv	Stort positivt Returavfallet er stabilisert og klargjort for langsiktig lagring/deponi	Stort positivt Returavfallet er stabilisert og klargjort for langsiktig lagring/deponi"	Stort positivt Returavfallet er stabilisert og klargjort for langsiktig lagring/deponi	Nær null, dvs. samme som nullalternativet. Avhenger av videre behandling eller utvikling av nye løsninger for å realisere samfunns målet på lang sikt
Effekt mål a. Egnen for langsiktig oppbevaring	Ja	Ja	Ja	Usikkert, avhengig av tilrettelegging og tolkning av regelverk

	Alternativ a	Alternativ b	Alternativ c	Alternativ d
Effektmål b: Gir ingen skadelig virkning på menneskers helse eller miljø	Stor positiv virkning sammenliknet med nullalternativet.	Stor positiv virkning sammenliknet med nullalternativet.	Stor positiv virkning sammenliknet med nullalternativet.	Svak positiv sammenliknet med nullalternativet
Ikke- radiologiske miljøhensyn	Risiko under transport, delvis hensyntatt i prissatte virkninger. Liten negativ	Risiko under transport, delvis hensyntatt i prissatte virkninger. Liten negativ	Risiko under transport, delvis hensyntatt i prissatte virkninger. Liten negativ	Risiko under transport, delvis hensyntatt i prissatte virkninger. Liten negativ
Opplevd trygghet	Svakt positiv, men motstand på repressering blant enkelte interessenter	Svakt positiv, men motstand på repressering blant enkelte interessenter	Svakt positiv	n/a
Samlet vurdering - ikke prissatt netto nytte	Stor positiv	Stor positiv, større volum på restavfall enn a og c	Stor positiv	Svakt positiv, avhenger av supplerende tiltak for å realisere samfunns målet
Vesentlige usikkerhetsfaktorer	Forsinket beslutning, kan gjøre alternativet dyrere/uaktuelt	Forsinket beslutning, kan gjøre alternativet dyrere/uaktuelt	Forsinket beslutning, kan gi kostnadsøkning	
Spesifisering av løsning	Høy usikkerhet om endelig løsnings-spesifikasjon, potensial for kostnadsreduksjon og gevinster å utvikle konseptet	Høy usikkerhet om endelig løsnings-spesifikasjon, potensial for kostnadsreduksjon og gevinster å utvikle konseptet	Høy usikkerhet om endelig løsnings-spesifikasjon. Umoden teknologi. Potensielle gevinster ved mer kunnskap og konsept-spesifikasjon.	
Samlet vurdering	<p>Trinnvis beslutning der alternativ a, b og c tas med videre til neste trinn framstår som den mest samfunnsøkonomiske lønnsomme strategien. Kjemisk behandling vurderes som samfunnsøkonomisk lønnsomt. Prissatte kostnader er lavere enn nullalternativet når det tas hensyn til restverdi. Ikke prissatte virkninger trekker i positiv retning.</p> <p>Nullalternativet har en høy negativ restverdi, men har også positive realopsjoner som kan redusere restverdien. Dette avhenger av godkjenning og vurdering av lagringsbeholderne, og hvilke krav som stilles for at løsningen kan videreføres i et mer langsiktig mellomlager.</p>			

8 Føringer for forprosjektfasen

Ifølge rundskriv R-108/19 om statens prosjektmodell, skal føringene for forprosjektfasen inkludere:

- en oversikt over grensesnitt mot andre prosjekter og evt. programperspektiv som må ivaretas gjennom forprosjektet.
- krav til prosjektspesifikt innhold i sentralt styringsdokument. Det sentrale styringsdokumentet skal beskrive fremdriften til prosjektet. Disse føringene beskriver vi i dette kapittelet.
- krav til den kommende prosjektorganisasjonens kompetanse og kapasitet
- prosjektspesifikke suksessfaktorer og fallgruver, samt en vurdering av hvordan disse skal håndteres videre
- forslag til risikoreduserende tiltak og realisering av oppsidepotensialet med utgangspunkt i usikkerhetsanalysen
- spesifisering av prosjekteksterne forhold som har betydning for fagdepartementet som prosjekteier.

Det første og siste kulepunktet besvares bl.a. i kapittel 2 (Denne utredningen er en del av et større prosjekt som går ut på å dekomisjonere de nukleære anleggene på Kjeller og i Halden, samt å etablere tilstrekkelig kapasitet for oppbevaring av radioaktivt avfall. Tabell 10 på side 37 viser hvordan valg av behandlingstilsløsing påvirker hvordan avfallet kan oppbevares. De viktigste prosjekteksterne forholdene er dekomisjoneringsprosjektet og den kommende konseptvalgutredningen om oppbevaringsløsninger for radioaktivt avfall). De øvrige kulepunktene besvares i dette kapittelet.

8.1 Fremdriftsplan

Alle alternativene beskrevet i denne rapporten krever modning og planlegging.

For nullalternativet omfatter modningsbehovet:

- Å anskaffe lagringsbeholdere tilpasset de forskjellige typene brensel. Dette kan kreve modifikasjon av en eller flere eksisterende typer lagringsbeholdere, eventuelt utvikling av en ny type.
- Å utrede hvor lagringsbeholderne med brensel skal lagres, og hvordan støttefunksjoner som bl.a. lagerhall, kran, sikkerhetsfunksjoner og adkomstvei skal utformes.
- Det må avklares hvilke krav som vil gjelde for en konsesjon iht. atomenergiloven, bl.a. en konkret beskrivelse av miljøovervåkningsprogram, kompetansekrav og sikringstiltak.
- Søknad om og behandling av:
 - Ny eller endret konsesjon iht. atomenergiloven
 - Tillatelse iht. forurensingsloven
 - Kommunal reguleringsplan, inkludert konsekvensutredning

For at brukt brensel skal kunne behandles i utlandet, må kravene i avfallsforskriftens § 16-11 være oppfylt og det må innhentes eksportlisens iht. eksportkontrollloven (se kapittel 5). Det medfører at uavhengig av om man velger Orano eller Studsvik, må NND:

- a) Dokumentere at behandlingen er nødvendig for å sikre en miljømessig forsvarlig behandling av det radioaktive avfallet ut fra en samlet vurdering av tilgjengelige behandlingstilsløsing i Norge, avfallets beskaffenhet og miljørisiko ved ulike alternativer.

- b) Innhente tillatelse fra myndighetene i landet hvor behandlingen skal utføres og eventuelle transittland

Konseptet som går ut på behandling hos Orano må detaljeres. Det innebærer blant annet:

- For hver type brensel må det avklares hva slags mekanisk forbehandling som eventuelt må gjøres, hvor den skal utføres, hva det koster og hvor lang tid det tar.
- Hvilke brenselstyper som kan eller kan ikke represseres må bekreftes. Det aller meste av dette arbeidet forventes ferdigstilt i løpet av 2020.
- Det må avklares hvilken alternativ behandlingsmetode som skal brukes for brenselet som ikke kan represseres. Skal det tørkes og pakkes hos en tredjepart, eller skal man avvente Oranos utvikling av smelting og vitrifisering som en alternativ behandlingsmetode?

En forutsetning for at brenselet skal kunne behandles hos Orano er at franske og norske myndigheter inngår en bilateral avtale. Etter at en slik avtale og en kontrakt med Orano eventuelt har blitt inngått, vil det ta omtrent 6 måneder å få tillatelse fra franske sikkerhetsmyndigheter til å sende brenselet til Norge. Parallelt med dette må man innhente tillatelse fra DSA.

For Studsvik må det verifiseres at oksidering kan utføres på en trygg måte i stor nok skala og at det ferdigbehandlede avfallet er kjemisk stabilt nok til å kunne deponeres. Dette kan for eksempel gjøres ved å teste metoden i et pilotanlegg. I tillegg må krav fra svenske myndigheter oppfylles. Ved behandling i Sverige trengs tillatelse fra myndighetene og forsikringer fra NND – verifisert av DSA – om at Norge tar brenselet tilbake etter at behandlingen er fullført. Det har foreløpig ikke kommet noe krav om en bilateral avtale på regjeringnivå. Tabell 13 viser en skisse til tidsplan dersom brenselet sendes til behandling hos Studsvik eller Orano.

Tabell 13: Antatt tidsplan ved behandling hos Orano eller Studsvik.

Aktiviteter	2020	2021	2022	2023	2024
Forhandlinger og videre undersøkelser av behandlingsmetoder	■	■			
KS1					
Regjeringsbeslutning		■			
Forprosjekt		■	■	■	
Videre tekniske utredninger		■	■	■	
Forhandle kontrakt		■	■	■	
Grunnlag for internasjonal avtale		■	■	■	
Grunnlag for søknad om tillatelse fra sikkerhetsmyndigheter		■	■	■	
KS2				■	
Stortingsbeslutning				■	
Inngå kontrakt og internasjonale avtaler				■	
Søknad om og behandling av eksporttillatelse iht. avfallsforskriften §16-11 fra DSA og eksportlisens iht. eksportkontrollforskriften fra Utenriksdepartementet				■	
Forberedelser i Kjeller og Halden				■	
Klargjøring av anlegg og utstyr hos Orano/Studsvik (etter KS2)				■	■
Utlasting og transport begynner (og varer i 4-6 år)					■ →

8.2 Prosjektstrategi

8.2.1 Suksessfaktorer, fallgruver og forslag til tiltak for å redusere risiko og realisere oppsidepotensialet

Usikkerhetene i de konseptene som videreføres til forprosjektet (se Tabell 11) skal styres ved å videreutvikle de gjenværende konseptene i samarbeid med leverandørene, samsvarsvurdering av regelverket og dialog med tilsynsmyndigheter i Norge, Sverige og Frankrike.

Når det gjelder behandling hos Orano, skal det følgende avklares:

- Behovet for mekanisk forbehandling før repressering
- Hvilke typer brensel som kan represseres ut over de vel 15 tonn som er bekreftet
- NND skal følge med på status og forventet utvikling av den alternative behandlingsmetoden smelting og vitrifisering, og sammen med Orano vurdere om metoden er egnet for deler av det brenselet som ikke kan represseres.
- Er det lettere og billigere å deponere mellomradioaktivt avfall fra repressering, enn høyradioaktivt avfall?

- Utvikle konsept for deponering av høyradioaktivt og mellomradioaktivt returavfall fra reprosessering i Norge.

Overfor Studsvik, skal de følgende punktene følges opp:

- Videreutvikling av oksideringsmetoden skal drøftes med Studsvik. Gitt akseptable kontraktsbetingelser, kan NND vurdere å bidra til finansiering av det videre utviklingsarbeidet.
- NND skal undersøke muligheten og betingelsene for bruk av SKBs innkapslingsanlegg

Angående risikoen for at Studsvik kan gå konkurs, så kan de økonomiske konsekvensene av det avbøtes vha. bankgarantier, fortrinnsvis 'on-demand'-garantier.

Fellers for alle konseptene er risikoen for tap av anleggsspesifikk kompetanse i Norge. Denne risikoen skal reduseres ved å i størst mulig grad ivareta kompetansen på anleggene, og å transportere ut brenselet så fort som mulig.

8.2.2 Krav til prosjektorganisasjonens kompetanse og kapasitet

I tillegg til anleggsspesifikk kompetanse, bør prosjektorganisasjonen bestå av personell med kompetanse innen bl.a:

- Behandling og deponering av brukt brensel og annet radioaktivt avfall
- Strålevern
- Regelverk og metoder for transport av radioaktivt materiale
- Regulatoriske prosesser, som søknader iht. avfallsforskriften, konsesjon iht. atomenergiloven, eksportkontrollloven osv.
- Prosjektledelse og risikostyring
- Anskaffelser
- Statens prosjektmodell

8.2.3 Kontraktstrategi

NNDs kontraktstrategi overfor Orano og Studsvik har frem til nå bestått i å bestille frittstående utredninger av avgrensede temaer som er relevante for transport og behandling av brukt brensel. NND anbefaler at den videre strategien blir å gå i direkte, parallelle, forhandlinger med leverandørene. Gjenstående behov for utredninger og utvikling kartlegges gjennom forhandlingene, og iverksettes iht. vanlig budsjettprosess.

Når ett konsept har blitt valgt, er planen å inngå en helhetlig avtale om transport, behandling og midlertidig lagring av brensel/returavfall med en av leverandørene.

8.3 Konklusjoner

8.3.1 Kjemisk behandling bør gjennomføres

Man bør velge kjemisk stabilisering fremfor ingen eller kun mekanisk behandling. Å satse på ingen kjemisk behandling er uklokt av både sikkerhetshensyn og av hensyn til fremtidige generasjoner. Å deponere kjemisk ustabil brensel er i strid med en konservativ tolkning av retningslinjer fra IAEA (IAEA Specific Safety Requirements No. SSR-5 Disposal of Radioactive Waste, Requirement 8). Derfor er midlertidig lagring eneste mulighet, dersom man ikke gjennomfører kjemisk stabilisering. Midlertidig

lagring strider imidlertid mot prinsippet om å ikke overføre utilbørlige byrder til fremtidige generasjoner (IAEA Fundamental Safety Principles, paragraf 3.29), så lenge midlertidig lagring ikke kombineres med tiltak for å sikre nødvendig kompetanse og finansiering til å etablere en permanent løsning.

8.3.2 Begge behandlingsmetodene gir omtrent det samme mulighetsrommet og kostnadene for langsiktig oppbevaring

Så vidt vi vet per i dag, har valg av behandlingstilstand ingen avgjørende konsekvens når det gjelder mulighetsrommet for oppbevaring (midlertidig lager, dypdeponi eller borehull), eller hva de ulike oppbevaringskonseptene vil koste. Dette er basert på våre nåværende kostnadsestimater for de ulike oppbevaringskonseptene. De estimatene er svært usikre og kan derfor endre seg etter hvert som konseptene utvikles og blir mer modne.

8.3.3 Forhandlinger kan forbedre beslutningsgrunnlaget og gi bedre betingelser

Begge leverandørene har det til felles at det er usikkerhet knyttet til hva det vil koste å behandle brukt brensel hos dem. Det er også usikkerhet knyttet til leverandørens tekniske gjennomføringsevne og soliditet. I Orano sitt tilfelle, skyldes usikkerheten en rekke uavklarte spørsmål om praktisk gjennomføring av transport og forbehandling før reprosessering. Kostnadene og gjennomføringsevnen ved behandling hos Studsvik er også usikre, bl.a. fordi oksidering er en mindre utprøvd metode enn reprosessering. I tillegg – og kanskje vel så viktig – kan det med hver leverandør være mulig å forhandle frem gunstige vilkår, særlig dersom begge leverandørene anses som realistiske alternativer til hverandre, slik at dagens konkurransesituasjon videreføres.

8.3.4 Veien videre

Når det gjelder gjennomføringstakt og transportbehov så finnes det fordeler og ulemper ved begge leverandørene. Et viktig moment i valg av løsning vil kunne være hvor raskt brenselet kan fjernes fra anleggene. Den økonomiske gevinsten ved å få fjernet alt brensel antas ligge i størrelsesorden 50 mill. kroner per år i rene personalkostnader, i tillegg kommer samfunnsgevinsten ved redusert risiko for vertskommuner og økt tempo i faktisk dekommissjonering. Tross dette mener vi at det må forhandles med begge leverandører i parallell frem til dagens usikkerheter rundt økonomiske vilkår, tidslinjer og teknisk modenhet er bedre avklart. NND ønsker seg derfor et mandat for å gjennomføre forhandlingene, og foreslår at man har som målsetning å ta en regjeringsbeslutning om behandlingsmetode i løpet av 2021.

Referanser

- [1] DNV-GL, «Konseptvalgutredning oppbevaring av norsk radioaktivt avfall - Utarbeidet på oppdrag fra Nærings- og fiskeridepartementet,» 2015.
- [2] Atkins & Oslo Economics, «Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall - Kvalitetssikring (KS1) utarbeidet på oppdrag fra Finansdepartementet og Nærings- og fiskeridepartementet,» 2016.
- [3] TUV-Nord, «Study concerning Treatment of Spent Nuclear Fuels,» 2017.
- [4] R. Walke, S. Watson, R. Metcalfe, R. Newson, J. Wilson, M. Thorne, K. Smith og P. Wood, «Disposability Assessment for Norwegian Research Reactor Fuel – Post-closure Safety Assessment Report Version 2.0,» Quintessa for the Norwegian Radiation Protection Authority, 2018.
- [5] Nærings- og fiskeridepartementet, «NND - oppdragsbrev om begrenset konseptvalgutredning (KVU) for sluttoppbevaring av norsk brukt reaktorbrensel,» Brev fra Nærings- og fiskeridepartementet, datert 22. mars 2019, 2019.
- [6] Nærings- og fiskeridepartementet, «Presisering av oppdrag - Begrenset konseptvalgutredning (KVU) for behandling av norsk brukt reaktorbrensel. Brev fra Nærings- og fiskeridepartementet, datert 3.februar 2020,» 2020.
- [7] Finansdepartementet, «Statens prosjektmodell - Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten,» 2019.
- [8] Finansdepartementet, «Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv,» 2014.
- [9] Finansdepartementet, «Kvalitetssikring av konseptvalg, samt styringsunderlag og kostnadsoverslag for valgt prosjektalternativ. Kostnadsestimering,» Finansdepartementet, veileder nr. 6, 2008.
- [10] Strålsikkerhetsmyndigheten, «Strålsikkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall,» 2018.
- [11] ICRP, *Radiological Protection in Geological Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste. ICRP Publication 122. Ann. ICRP 42(3)*, 2013.
- [12] P. G. Bergan, A. Bjørlykke, E. Foshaug, E. Kostøl, K. Kveseth, E. Martiniussen og E. O. Pettersen, «NOU 2001:30 – Vurdering av strategier for sluttlagring av høyaktivt reaktorbrensel,» Nærings- og handelsdepartementet, 2001.
- [13] P. Bennett, B. C. Oberlander, P. Adelfang og E. Eriksson, «Recommendations for the conditioning of spent metallic uranium fuel and aluminium clad fuel for interim storage and disposal,» Nærings- og handelsdepartementet, Halden, 2010.

- [14] «Felleskonvensjon om sikkerhet ved håndtering av brukt kjernebrensel og sikkerhet ved håndtering av radioaktivt avfall,» <https://lovdata.no/dokument/TRAKTAT/traktat/1997-09-29-1>.
- [15] DNV GL, «Fremtidig dekommisjonering av IFEs nukleære anlegg (KVU trinn 2),» 2019.
- [16] Finansdepartementet, «Statens prosjektmodell - Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten,» 2019.
- [17] B. de Blohouse, *Metallic Uranium*, NIRAS, 2017.
- [18] M. Epstein, B. Malinovic og M. G. Plys, «Uranium Pyrophorocity Phenomena and Prediction,» Fluor Hanford, 2000.
- [19] H. Peacock, «Pyrophorocity of Uranium (U),» Westinghouse Savannah River Company, Aiken, South Carolina, 1992.
- [20] IAEA, «Available Reprocessing and Recycling Services for Research Reactor Spent Nuclear Fuel,» IAEA, 2017.
- [21] IAEA, «Principles of Radioactive Waste Management,» Wien, 1995.
- [22] International Panel on Fissile Materials, «Countries: France,» 12 02 2018. [Internett]. Available: <http://fissilematerials.org/countries/france.html>. [Funnet 16 05 2020].
- [23] E. Stranden, A. Bjørlykke, N. Bøhmer, I. Rasmussen, R. Jullum, L. H. Thoresen, L. Conradi, B. Pretlove og B. J. Gustafsson, «NOU 2011:2 Mellomlagerløsning for brukt reaktorbrensel og langlivet mellomaktivt avfall,» 2011.
- [24] IAEA, «Safety Standards Series No SSR-5 Disposal of Radioactive Waste,» 2011.
- [25] B. A. Hilton, «Review of Oxidation Rates of DOE Spent Nuclear Fuel: Part 1: Metallic Fuel,» Argonne National Laboratory, Idaho Falls, Idaho, USA, 2000.
- [26] Radioactive Waste Management , «Geological Disposal: Waste Package Evolution Status Report,» Nuclear Decommissioning Authority , 2016.
- [27] Svensk Kärnbrenselhandtering (SKB) AB, «Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark,» 2011.
- [28] Svensk Kärnbränslehandtering, *Information and presentations, School of Geological Disposal 2019*, Äspö, Sweden.
- [29] Atkins og Oslo Economics, «KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall. Vedlegg 4 - Betragtninger om bruk av borehull som deponi for radioaktivt avfall,» 2016.
- [30] STUK, «Management of spent fuel and radioactive waste in Finland – national programme in accordance with Article 12 of the Council Directive 2011/70/Euratom,» 2015.
- [31] «Lag (1984:3) om kärnteknisk verksamhet, § 5 a, ledd 1».

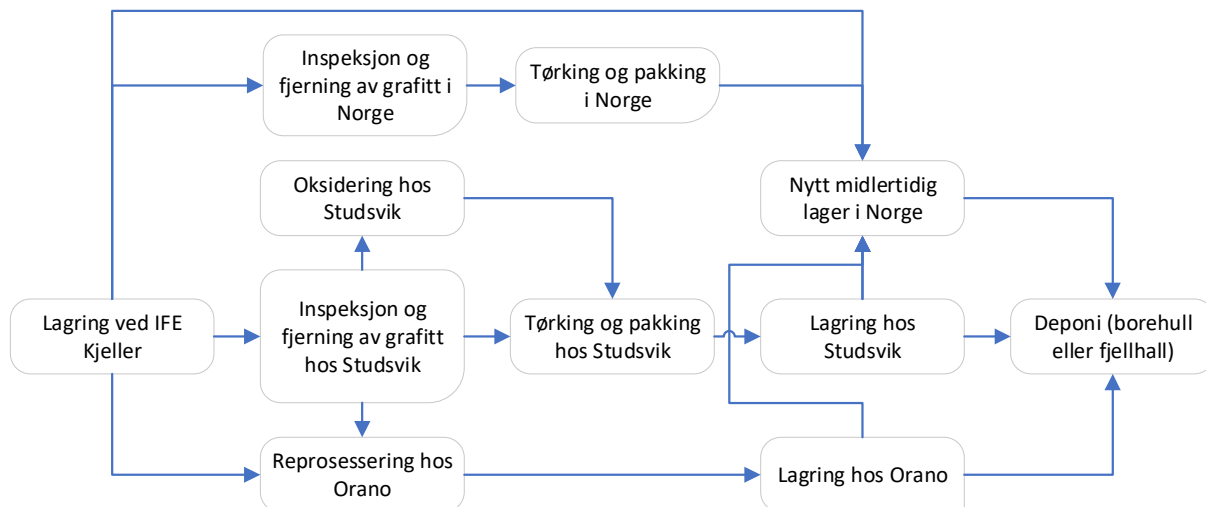
- [32] N. A. Chapman, «Who Might Be Interested in a Deep Borehole Disposal Facility for Their Radioactive Waste?,» *Energies* (<https://www.mdpi.com/1996-1073/12/8/1542>), 2019.
- [33] I. d. R. e. d. S. N. (ISRN), «International panorama of research on alternatives to geological disposal of high-level waste and long-lived intermediate-level waste; IRSN Report/2019-00318,» ISRN (https://www.irsn.fr/EN/publications/technical-publications/Documents/IRSN_Rapport%20alternatives_final_UK-ENGLISH.pdf), 2019.
- [34] IAEA, «Model Regulations for Borehole Disposal Facilities for Radioactive Waste,» 2017.
- [35] G. Bracke, W. Kudla og T. Rosenzweig, «Status of Deep Borehole Disposal of High-Level Radioactive Waste in Germany,» *Energies* (<https://www.mdpi.com/1996-1073/12/13/2580>), 2019.
- [36] G. Freeze, E. Stein, L. Price, R. MacKinnon og J. Tillmann, «Deep Borehole Disposal Safety Analysis,» Sandia National Laboratories, 2016.
- [37] G. A. Freeze, E. Stein, P. V. Brady, C. Lopez, D. Sassani, K. Travis, F. Gibb og J. Beswick, «Deep Borehole Disposal Safety Case,» *Energies* (<https://www.mdpi.com/1996-1073/12/11/2141>), 2019.
- [38] J. A. Beswick og F. G. F. Gibb, «Deep borehole disposal of nuclear waste: engineering challenges,» *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy* (<https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/ener.13.00016>), 2014.
- [39] E. W. Foshaug, R. Jullum, O.-M. Parelius og B. Andresen, «Etablering av nytt mellomlager for høyaktivt avfall; Utredning gjennomført av Fase 1 - utvalget i perioden januar – juni 2004 på oppdrag fra Nærings- og handelsdepartementet,» 2004.
- [40] Nirex, «Nirex Report N/124; Specification for Waste Packages Containing Vitrified High Level Waste and Spent Nuclear Fuel,» 2005.
- [41] S. Vorobyev, *Metallic uranium, personal communication from Sergey Vorobyen (IAEA) to Håvard Kristiansen (NND) 10 January 2020.*
- [42] DSA, «Examples of Planning for Direct Disposal of Uranium Metal Spent Nuclear Fuel and Corresponding Safety Support,» 2019.
- [43] IAEA, «Characterization, treatment and conditioning of radioactive graphite from decommissioning of nuclear reactors,» 2006.
- [44] Enova, «Technology readiness levels (TRL),» [Internett]. Available: <https://www.enova.no/bedrift/industri-og-anlegg/tema/technology-readiness-levels-trl/>. [Funnet 13 03 2020].
- [45] Wikipedia, «Technology readiness level,» [Internett]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level. [Funnet 13 03 2020].
- [46] DFØ, «Veileder i samfunnsøkonomiske analyser,» Direktoratet for økonomistyring, 2018.
- [47] N. Bueil, B. Kerr, P. Lefebvre og P. Cavelius, «Dry Storage – JEEP 1Fuel,» Orano, 2019.

- [48] H. Loukusa, H. Nordman, S. Karvonen og A. Hautojärvi, «Feasibility of KBS-3 Spent Fuel Disposal Concept For Norwegian Spent Fuel (DRAFT),» AINS Group/VTT/BGE-TEC, 2020.
- [49] Posiva, *Pocket Guide to Final Disposal* (http://www.posiva.fi/files/4118/Pocket_Guide_to_Final_Disposal.pdf).
- [50] World Nuclear Association, «Processing of Used Nuclear Fuel,» [Internett]. Available: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/processing-of-used-nuclear-fuel.aspx>. [Funnet 13 03 2020].
- [51] OSPAR, «French Implementation Report of PARCOM - Recommendation 91/4 on radioactive discharges,» OSPAR, 2019.
- [52] M. Komperød, F. EG og A. Rudjord, «Stråledoser til befolkningen. Oppsummering av stråledoser fra planlagt (<https://www.dsa.no/publikasjon/straalevernrapport-2015-12-straaledoser-til-befolkningen.pdf>),» Statens strålevern, Østerås, 2015.
- [53] IAEA, «Classification of radioactive waste: General Safety Guide 1,» Wien, 2009.
- [54] DSA, «Utredning av behov for kapasitet til behandling og håndtering av radioaktivt avfall fram mot 2035,» Statens strålevern, Østerås, 2016.
- [55] C. Greis Dahlberg og P. Lidar, «Study on future decommissioning of nuclear facilities in Norway - KVVU step II Waste Inventory Update,» Studsvik, 2019.
- [56] Andra, «Project siting and facilities overview,» Andra, [Internett]. Available: <https://international.andra.fr/projects/cigeo/cigeos-facilities-and-operation/project-siting-and-facilities-overview>. [Funnet 22 03 2020].
- [57] Aftenposten, «I dette nabolaget ligger Norges farligste atomlager. Lagringsforholdene kan gi fare for gassseksplisjon og selvantennning,» 15 08 2019. [Internett]. Available: <https://www.aftenposten.no/norge/i/xP76rl/i-dette-nabolaget-ligger-norges-farligste-atomlager-lagringsforholdene-kan-gi-fare-for-gasseksplisjon-og-selvantennning>. [Funnet 05 02 2020].
- [58] Norges naturvernforbund, Greenpeace, Verdens naturfond (WWF), Fremtiden i våre hender, Lofoten mot Sellafield, Norges miljøvernforbund, til atomvåpen og Internasjonal kvinneliga for fred og frihet, «Norsk atomavfall, norsk ansvar (<https://www.regjeringen.no/contentassets/376914e2743c46fbb7dd46d5c6e7e935/stranden-nnf-vedl4.pdf>),» 2011.
- [59] E. Martiniussen, «Norge vurderer å sende atomavfall til Frankrike. Kritikere advarer om utslippsfare (<https://www.tu.no/artikler/norge-vurderer-a-sende-atomavfall-til-frankrike-kritikere-advarer-om-utslippsfare/484629?key=fmzawTac>), lest 7.2.2020,» *Teknisk Ukeblad (nettversjonen)*, 2020.
- [60] IAEA, «Fundamental Safety Principles,» Wien, 2006.
- [61] Wikipedia, «https://en.wikipedia.org/wiki/La_Hague_site,» 19 11 2019. [Internett].

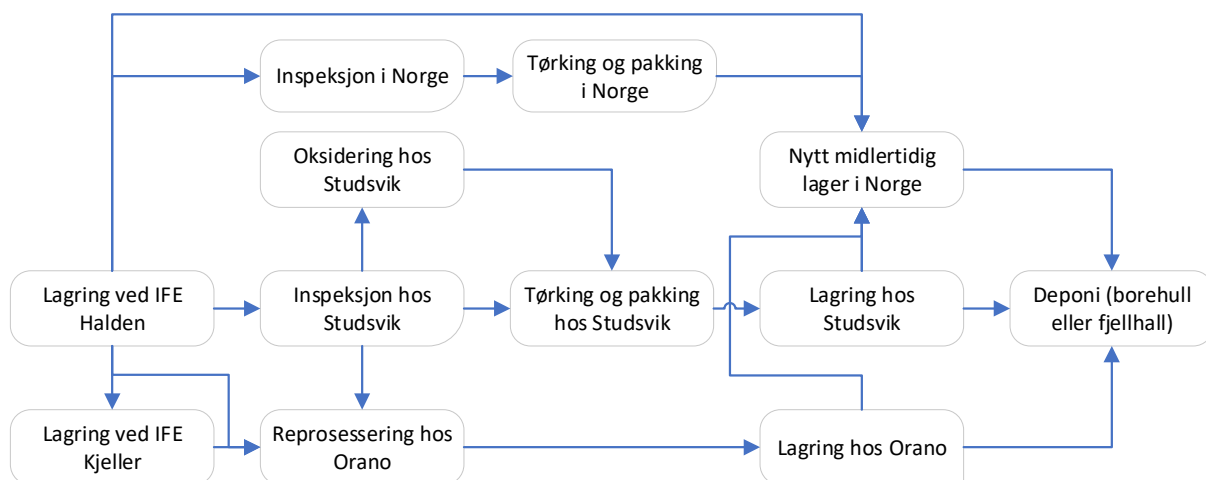
- [62] Nuclear Decommissioning Authority, «Generic specifications for waste packages containing low heat generating waste,» 2012.
- [63] D. Crusset, V. Deydier, S. Necib, J.-M. Gras, P. Combrade, D. Féron og E. Burger, «Corrosion of carbon steel components in the French high-level waste programme: evolution of disposal concept and selection of materials,» corrosion engineering, science and technology, 2017.
- [64] N. Gundersen og N. H. (. 1. m. Lundberg, « Petroleumsutvinning. I Store norske leksikon. Hentet 28. januar 2020 fra <https://snl.no/petroleumsutvinning>».
- [65] Oljedirektoratet, «Ressursrapport 2017 (https://www.npd.no/fakta/publikasjoner/rapporter/ressursrapporter/ressursrapport-2017/utvinning-mye-a-ta-fatt-i/ta-bruk-teknologi/boring-utvbrønner/).»
- [66] U.S Energy Information Administration, «Updated EIA survey provides data on spent nuclear fuel in the United States, <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=24052#>, Hentet 28.1.2020,» 2015.
- [67] Svensk Kärnbränslehandtering (SKB) AB , «Design and production of the KBS-3 repository,» 2010.
- [68] Nærings- og fiskeridepartementet, «Prop. 1 S (2016-2017) Proposisjon til Stortinget (forslag til stortingsvedtak),» 2016.
- [69] Institutt for energiteknikk (IFE), «IFEs årsrapport for 2018,» 2019.
- [70] Atkins og Oslo Economics, «KS1 Oppbevaring av norsk radioaktivt avfall Vedlegg 3 - Samfunnsøkonomi - Utdypende analyser,» 2016.
- [71] E. Verhoef, E. Neeft, G. Deissmann, A. Filby, R. Wiegers og D. Kers, «Waste families in OPERA,» COVRA, 2016.
- [72] SKB, «Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark,» SKB, 2011.

Vedlegg 1

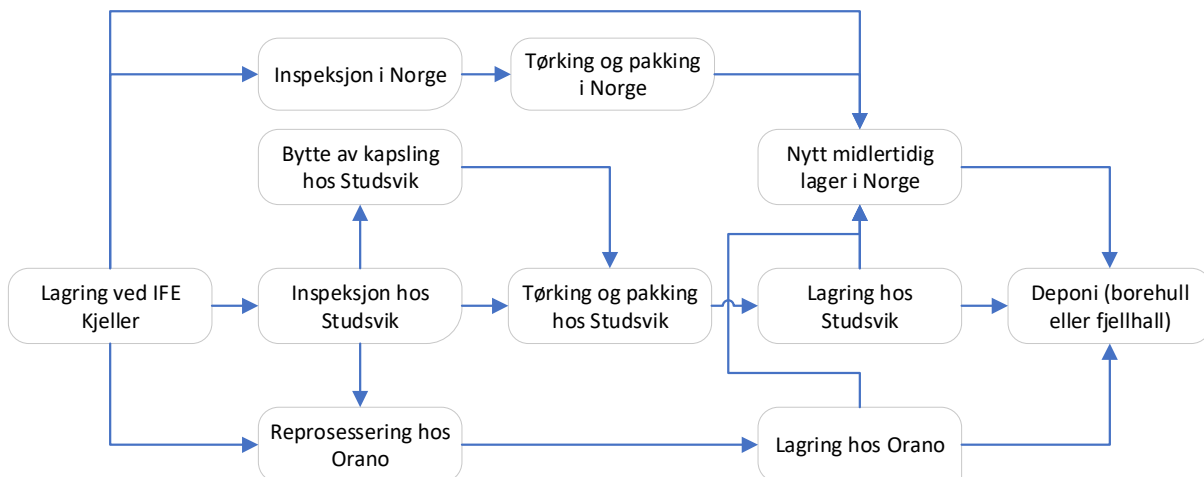
Dette vedlegget inneholder flytskjemaer som viser mulige tiltak for hver type brensel.



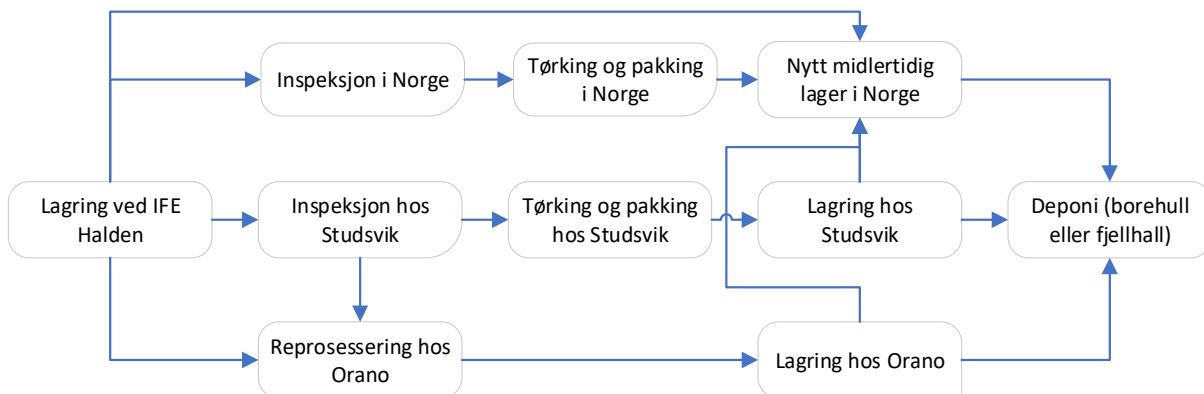
Figur 12: Illustrasjon av de alternative strategiene for å håndtere brensel fra JEEP I-reaktoren. Dette brenselet består av 3 tonn metallisk uran i aluminiumskapsling.



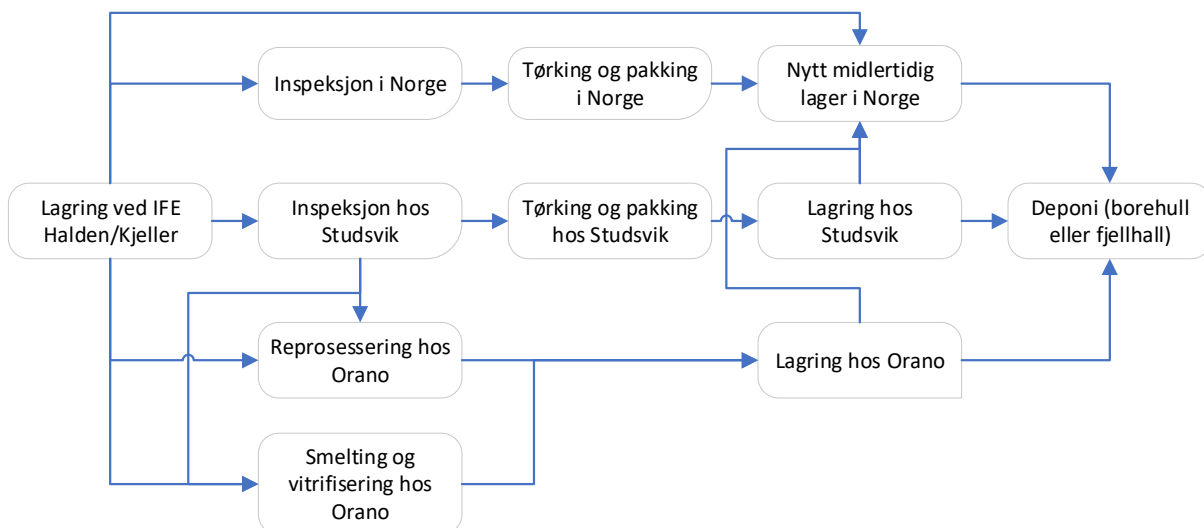
Figur 13: Illustrasjon av de alternative strategiene for å håndtere førsteladningsbrensel fra Haldenreaktoren. Dette brenselet består av 7 tonn metallisk uran i aluminiumskapsling.



Figur 14: Illustrasjon av de alternative strategiene for å håndtere brensel fra JEEP II-reaktoren. Dette brenselet består av 1.5 tonn uranoksid i aluminiumskapsling.



Figur 15: Illustrasjon av de alternative strategiene for å håndtere driverbrensel fra Haldenreaktoren. Dette brenselet består av 3.6 tonn uranoksid i zircaloy.



Figur 16: Illustrasjon av de ulike strategiene for å håndtere eksperimentalbrensel. Dette brenselet består av 1.4 tonn av forskjellige typer materiale. Noe av eksperimentalbrenselet er i dag lagret på Kjeller, og noe er lagret i Halden.