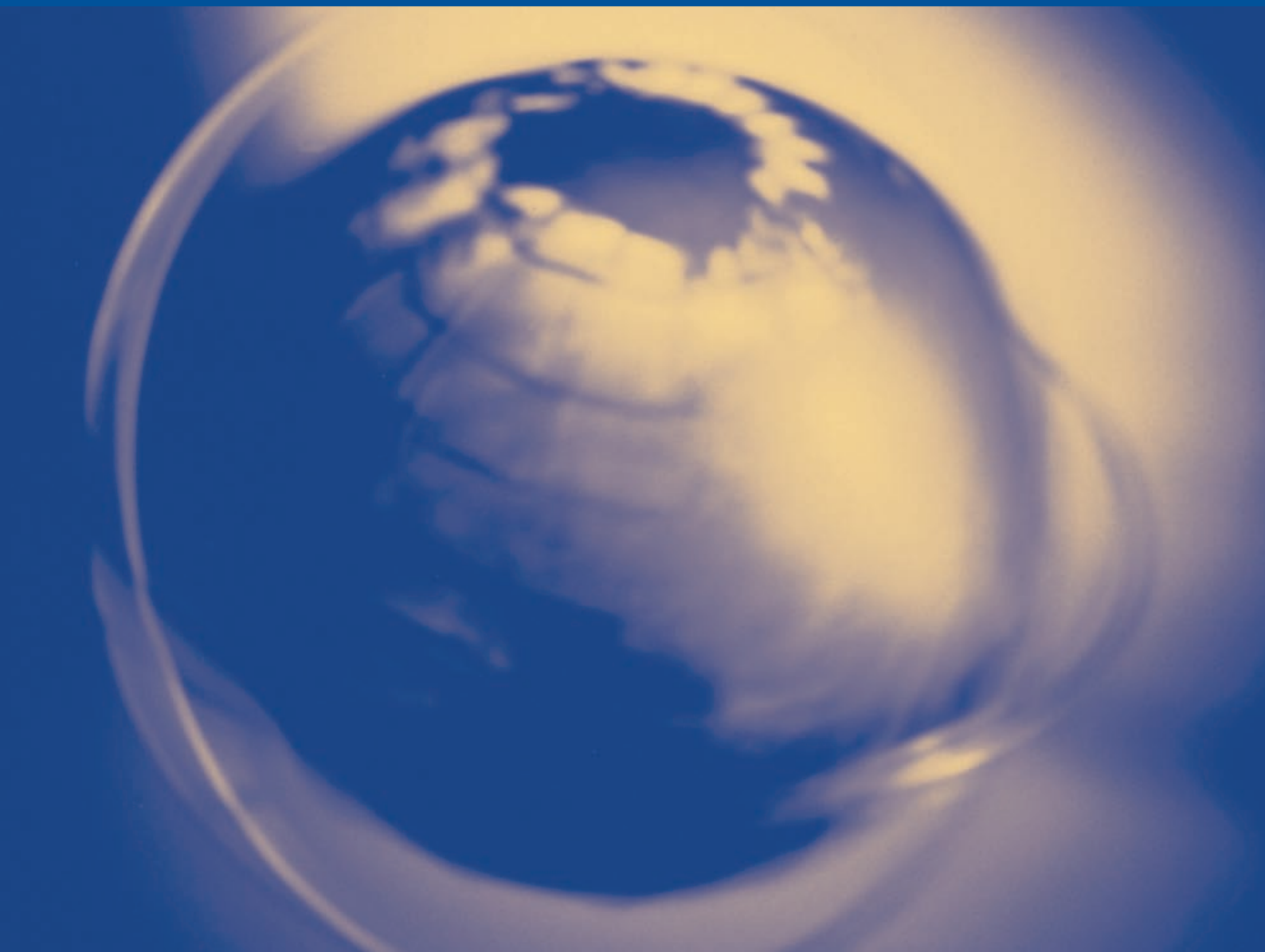
Forskningsrådet

Nukleære virksomheter ved Institutt for energiteknikk – IFE

En samfunnssøkonomisk kost/nytte-analyse

Evaluering
Divisjon for innovasjon



© **Norges forskningsråd 2008**

Norges forskningsråd
Postboks 2700 St. Hanshaugen
0131 OSLO
Telefon: 22 03 70 00
Telefaks: 22 03 70 01
bibliotek@forskningsradet.no
www.forskningsradet.no/

Publikasjonen kan bestilles via internett:
www.forskningsradet.no/publikasjoner

eller grønt nummer telefaks: 800 83 001

Grafisk design omslag: Design et cetera
Trykk omslag: 07 Gruppen, Innmat: Forskningsrådet
Opplag: 200

Oslo, mars 2008
ISBN 978-82-12-02526-4 (trykksak)
ISBN 978-82-12-02527-1 (pdf)

Innholdsfortegnelse

0 FORORD 5

0.1 BAKGRUNN 5
0.1.1 Mandat 5
0.1.2 Oppnevning og sammensetning 6

1 INNLEDNING 7

1.1 TOLKNING AV MANDATET VEDRØRENDE DEKOMMISJONERING 7
1.2 METODISK TILNÆRMING 8
1.3 ORGANISERING AV EVALUERINGSARBEIDET OG SLUTTRAPPORTEN 9

2 BESKRIVELSE AV VIRKSOMHETEN KNYTTET TIL ATOMREAKTORENE PÅ KJELLER OG VED HALDEN 11

2.1 INNLEDNING 11
2.2 VIKTIGE PROSJEKTER/AKTIVITET VED IFE HALDEN 12
2.3 VIKTIGE PROSJEKTER/AKTIVITET VED IFE KJELLER 13
2.4 FINANS/ØKONOMI 15
2.5 AKADEMISK SAMARBEID OG RESULTATER 17
2.6 RISIKOFAKTORER KNYTTET TIL DRIFT 23
2.6.1 Halden (HBWR) 23
2.6.2 Kjeller (JEEP II reaktoren) 24

3 ATOMREAKTORER OG ANDRE NØYTRONKILDER – STATUS OG PERSPEKTIVER 25

3.1 KRAFTPRODUSERENDE REAKTORER 25
3.2 NYE GENERASJONER KRAFTPRODUSERENDE REAKTORER 27
3.2.1 Generasjon III 27
3.2.2 Generasjon IV 28
3.2.3 Thorium reaktorer 29
3.3 FORSKNINGSREAKTORER 30
3.4 SPALLASJONSKILDER 32
3.5 ESS - PLANER FOR EN EUROPEISK SPALLASJONSKILDE 32
3.6 NØYTRONKILDER – VEIEN VIDERE I EUROPA 33
3.7 NØYTRONKILDER FOR NORSKE FORSKERE 34

4 KOSTNADER FORBUNDET MED ULYKKESRISIKO, DRIFT OG LAGRING AV AVFALL ... 37

4.1 GENERELT OM SIKKERHETSFORSKRIFTER OG SIKKERHETSARBEID 37
4.2 KOSTNADER VED ULYKKER 38
4.3 KOSTNADER VED NORMALDRIFT AV REAKTORENE 38
4.4 AVFALLSBEHANDLING OG LAGRING 39

5 REAKTORENES BETYDNING FOR IFES AKTIVITETER FREMOVER 41

5.1 HALDENREAKTOREN 41
5.2 KJELLERREAKTOREN 42
5.3 KOMPLEMENTARITET 42

6 HVILKE NYTTEVERDIER KAN GÅ TAPT? 43

6.1 BEREDSKAPSVERDI AV VIDERE REAKTORDRIFT 43
6.1.1 Atomulykkesberedskap 44
6.1.2 Sikring av nærområdene 45
6.1.3 Del av kostnadseffektiv FoU-struktur 46
6.2 OPSJONSVERDI AV VIDERE REAKTORDRIFT 47
6.2.1 Fremtidig energiforsyning 47
6.2.2 Prioriterte forskningstema 48

6.3 DIREKTE BRUKSVERDI AV VIDERE REAKTORDRIFT 49
6.3.1 Kjøp av tjenester fra bedrifter og forskningsinstitusjoner 49
6.3.2 Kjøp av tjenester fra det offentlige/myndighetene 51
6.4 INDIREKTE BRUKSVERDI AV VIDERE REAKTORDRIFT 52
6.4.1 Absorpsjonsevne 52
6.4.2 Internasjonalt kollektivt gode 53
6.4.3 Langsiktig avkastning av FoU 55

7 KOSTNADER VED NEDLEGGELSE 57

7.1 GENERELT OM DEKOMMISJONERING – ERFARINGER FRA SVERIGE 57
7.2 KOSTNADER VED EN EVENTUELL DEKOMMISJONERING AV IFES ATOMANLEGG 58
7.3 KOSTNADER UTEN FULLSTENDIG "GREEN FIELD" 59
7.4 KOSTNADER VED ET MINIMUMS-SCENARIO 61

8 UTVALGETS VURDERINGER 63

8.1 HALDENREAKTOREN 64
8.1.1 Videre drift som alternativ 64
8.1.2 Nedleggelse av reaktoren ved Halden som alternativ 66
8.1.3 Oppsummering Haldenreaktoren 66
8.2 KJELLERREAKTOREN 67
8.2.1 Videre drift som referansealternativ 67
8.2.2 Nedleggelse av reaktoren ved Kjeller som alternativ 68
8.2.3 Oppsummering Kjellerreaktoren 69

REFERANSER 71

APPENDIKS OM ATOMREAKTORER 73

VEDLEGG 1 77

0 Forord

0.1 Bakgrunn

I brev datert 23.11.2006 fra Nærings- og handelsdepartementet til Norges forskningsråd opplyses at "Regjeringen har vedtatt at det skal gjennomføres en internasjonal evaluering av virksomheten i Halden og på Kjeller knyttet til reaktorene, med en kartlegging av samfunnsmessige kostnader og gevinster". I brevet anmodes Forskningsrådet om å utarbeide utkast til mandat for den internasjonale evalueringen og legge dette frem for departementet for drøfting. Forskningsrådet anmodes samtidig om å være administrativt ansvarlig for gjennomføringen av evalueringen.

0.1.1 Mandat

Etter drøftelse med Nærings- og handelsdepartementet legges det til grunn at evalueringen skal gjennomføres som en alminnelig samfunnsøkonomisk kost-nytte analyse.

Samfunnsøkonomiske hovedelementer i analysen skal være:

- Forskningsfaglig verdi av fortsatt forskning basert på eksistensen av reaktorene
- Fremtidig brukernytte – kjente anvendelsesområder både for eksisterende og nye brukere
- Framtidig brukernytte – nye og i dag ukjente anvendelsesområder
- Kostnadsdifferanser (varige sikringskostnader finnes uansett)

Utvalget kan i arbeidet bruke elementer av opsjonsanalysemetodikk der det anses hensiktsmessig.

Analysealternativene skal være:

- Fortsatt drift av begge reaktorene
- Nedleggelse av Kjeller-reaktoren, inkl. dekommisjonering, og fortsatt drift av Halden-reaktoren
- Nedleggelse av Halden-reaktoren, inkl dekommisjonering, og fortsatt drift av Kjeller-reaktoren
- Nedleggelse av begge reaktorene inkl. dekommisjonering

Analysene skal omfatte virkninger så vel for Norge som internasjonalt.

Evalueringen forutsettes gjennomført av et ekspertutvalg med kompetanse på topp internasjonalt nivå og da spesielt innen fagområdene økonomisk analyse og teknologi relatert til nukleær virksomhet.

Evalueringen skal være sluttført og rapportert senest innen 1. mars 2008.

0.1.2 Oppnevning og sammensetning

Til å gjennomføre evalueringen oppnevnte Forskningsrådet følgende ekspertutvalg:

- Professor Arild Hervik, Høgskolen i Molde (utvalgsleder)
- Professor Kåre P. Hagen, Norges Handelshøyskole
- Professor Geir B. Asheim, Universitetet i Oslo
- Cand.real. Oddbjørn Sandervåg, Statens kärnkraftinspektion
- Professor Yvonne Andersson, Uppsala Universitet

Sekretariat

Til å bistå ekspertutvalget i prosessen med å gjennomføre evalueringen og skrive utvalgsrapporten har følgende personer vært engasjert i sekretariatet:

- Helge Bremnes, Møreforsking Molde
- Maria Sandsmark, Møreforsking Molde
- Lasse Bræin, Møreforsking Molde
- Tore Amundsen, Professor emeritus, Universitetet i Oslo

Kontakten til Forskningsrådet

Ekspertutvalgets kontaktpersoner i Forskningsrådet og observatører i møtene har vært:

- Avdelingsdirektør Egil Eike
- Spesialrådgiver Bjørn Bjørnsen

1 Innledning

Institutt for Energiteknikk (IFE) har konsesjon frem til utgangen av 2008 for å drive de to forskningsreaktorene som finnes i Norge i dag, en på Kjeller (JEEP II) og en i Halden (HBWR). Aktivitetene knyttet til disse reaktorene utgjør grunnlaget for norsk kompetanse på nukleærteknologi, noe som både bidrar til å fremme industripolitiske prioriteringer og å styrke norske myndigheters innflytelse i atomsikkerhetsarbeid internasjonalt. Samtidig fører aktivitetene til miljøulemper for innbyggerne bosatt i nærheten av driftsanleggene, og til fremtidige generasjoner gjennom akkumulering av høyaktivt avfall. For samfunnet sett under ett, finnes det altså både argumenter som taler for og i mot videre drift av forskningsreaktorene.

Formålet med evalueringsarbeidet dokumentert i foreliggende rapport, er å belyse nærmere de positive og negative sidene ved fortsatt drift, samt heldige og uheldige konsekvenser ved eventuell nedleggelse av reaktorene – og sammenligne disse. Metoden som benyttes i evalueringsarbeidet er samfunnsøkonomisk nytte- kostnadsanalyse, inkludert elementer av opsjonsteori. Vurderingene som fremkommer skal gi et grunnlag for fremtidige beslutninger om fortsatt driftstillatelse.

1.1 Tolkning av mandatet vedrørende dekommisjonering

I henhold til mandatet, jf. avsnitt 0.1.1, er utvalget bedt om å evaluere følgende analysealternativ:

1. Fortsatt drift av begge reaktorene
2. Nedleggelse av Kjeller-reaktoren, inkl. dekommisjonering, og fortsatt drift av Halden-reaktoren
3. Nedleggelse av Halden-reaktoren, inkl dekommisjonering, og fortsatt drift av Kjeller-reaktoren
4. Nedleggelse av begge reaktorene inkl. dekommisjonering

Det første alternativet utgjør det såkalte 0-alternativet, eller referansealternativet, i analysen.

Med hensyn til nedleggelse inkludert dekommisjonering i analysealternativene 2) - 4), har utvalget funnet det rimelig å tolke mandatet slik at nedleggelse av reaktorene kun innebærer stans av aktiviteten. Kostnader og nyttegevinster ved dekommisjonering holdes derfor utenfor analysen. Begrunnelsen for en slik tolkning er at når lovverket pålegger en umiddelbar tilbakeføring av et industriområde til ”green field” ved nedstengning av en reaktor, er det underforstått en oppfatning om at den samfunnsmessige gevinsten ved dekommisjonering godtgjør alle kostnadene. Kostnader og nyttegevinster ved dekommisjonering kan dermed sies å gå opp i opp, og slik sett sees bort fra i en analyse som den foreliggende. Dersom vi ikke kunne anta at nyttegevinsten ved dekommisjonering oppveide kostnadene, ville kostnadene ved nedleggelse være så store at det uansett aldri ville lønne seg å legge ned reaktorene. Utvalget er derfor av den oppfatning at utsetting av store fremtidige kostnader ikke kan være et argument for fortsatt reaktordrift.

De estimerte kostnadene ved dekommisjonering av forskningsreaktorene i Halden og på Kjeller er imidlertid beregnet av IFE og inkludert i rapportens kapittel 7. Det finnes ikke tilgjengelige estimat for tilhørende nyttegevinster, som uansett er av kvalitativ art. En beregning av nyttegevinstene ved full dekommisjonering ville blant annet ha omfattet en kartlegging av betalingsvilligheten for redusert risiko for ulykke, for eksempel gjennom en

omfattende spørreundersøkelse av beboere i nærheten av IFEs reaktoranlegg. En slik kartlegging ligger uansett utenfor ressursrammen for denne evalueringen.

1.2 Metodisk tilnærming

I nytte-kostnadsanalysen i denne rapporten vil en ta sikte på å sammenligne de samfunnsmessige konsekvensene av en nedleggelse av reaktorene opp mot alternativet, som er videre drift. Et problem i så henseende er å gi en enhetlig sammenstilling av de ulike kostnader og nytteelementer. Dette er spesielt vanskelig når effektene er knyttet til størrelser som ikke lar seg tallfeste ved at de ikke verdsettes i noe marked. Problemet med verdsettingen av effekter er spesielt problematisk i forhold til de eksterne effektene en finner på nyttesiden ved videre reaktordrift. For eksempel eksisterer det ikke noe marked som kan vurdere verdien av å ha et forskningsmiljø her i Norge, som kan fungere som en lyttepost ute i verden og være i stand til å overføre kunnskapen til norske brukere. Slike verdivurderinger er relatert til den politiske forskningsstrategien, og da er det myndighetene som må oppgi hvor stor betalingsvilligheten er for dette "godet". I denne rapporten er det ikke gjort forsøk på å finne ut hvor stor betalingsvillighet myndighetene har for de ulike nytteelementer som er knyttet til den reaktorrelaterte forskningen ved Halden og Kjeller. I stedet har utvalget valgt en kostnadsanalyse hvor samfunnsmessige kostnader som eksisterer ved videre drift av reaktoren stilles sammen med kostnader ved nedlegging. Kostnadene består i hovedsak av to komponenter: de offentliges finansieringskostnader, samt forventede kostnader knyttet til ulykkesrisiko. En eventuell nedleggelse vil føre med seg at det vil være noen nyttegevinster som går tapt. Rapportens målsetting er her å synliggjøre hvilke nyttegevinster som er relevante å ta med i analysen, og gi en kvalitativ vurdering av betydningen disse nyttegevinstene har for samfunnet. Beslutningskriteriet for myndighetene blir således å vurdere verdien av dette nyttetapet opp mot de gevinster som fremkommer ved en eventuell nedleggelse.

Ved en eventuell nedleggelse av reaktorene er det to momenter som ikke vil inngå som en del av nytte- kostnadsvurderingen i denne rapporten:

- **Mulige ringvirkningseffekter ved en eventuell nedleggelse:** Ved en eventuell nedleggelse av reaktorene vil et gitt antall arbeidsplasser forsvinne i regionen. I vurderingen av nytte og kostnadselementene skal imidlertid ikke slike regionale ringvirkningseffekter inkluderes i analysen, såfremt det ikke kan argumenteres for spesielle ledighetsproblemer i regionene rundt Halden eller Kjeller. Nedleggelse av en arbeidsplass i disse regionene må da ha en større kostnad for samfunnet enn gevinsten av opprettelse av en arbeidsplass i en annen del av landet. Det er imidlertid ikke grunnlag for en slik påstand. I et arbeidsmarked som er karakterisert med full sysselsetting vil en eventuell nedleggelse ved IFE frigi arbeidskraft som vil bli benyttet ved beste alternative anvendelse. Det antas at den alternative anvendelsen av arbeidskraften i sin tur genererer positive ringvirkninger som oppveier de negative ringvirkningene som en nedleggelse av IFE eventuelt gir. I et nasjonalt nytte-kostnadsperspektiv vil nettoeffekten bli null.

- **Inntekter fra utlandet:** I analysen vil det ikke skilles mellom inntekter fra norske og utenlandske aktører. Så lenge en antar at valutamarkedet er velfungerende er det ingen grunner til å behandle dette ulikt. Hvorvidt det er norsk eller utenlandsk finansiering som faller bort ved en eventuell nedleggelse av reaktorene har ingen konsekvenser for den alternative anvendelsen av ressursene ved IFE. Også her er det alternativbruken av

ressursene ved IFE som er relevant i forhold til problemstillingen rundt en eventuell nedleggelse.

1.3 Organisering av evalueringsarbeidet og sluttrapporten

Ekspertutvalget hadde sitt første møte 18. juni 2007, og har siden avholdt åtte møter, inkludert et todagers møte med IFE på Kjeller og i Halden. Deler av utvalget hadde i tillegg et møte med representanter for OECD/NEA i Paris, jf. referat i Vedlegg 1. I tillegg har utvalget hatt møte med representant fra Universitetet i Oslo, samt gjennomført ti intervjuer med sentrale samarbeidspartnere til IFE Kjeller.

Ekspertutvalgets nytte- kostnadsanalyse er presentert i foreliggende sluttrapport. Rapporten har følgende struktur:

- Kapittel 2 gir en situasjonsbeskrivelse av IFEs virksomhet knyttet til forskningsreaktorene i Halden (HBWR) og på Kjeller (JEEP II). Grunnlaget for beskrivelsen er informasjon fra miljøet, i hovedsak egenevalueringer som utvalget mottok september/oktober 2007.
- Kapittel 3 gir en oversikt over reaktorteknologi generelt, samt perspektiver for utviklingen fremover. Kapittelet inneholder også en beskrivelse av status og prognoser for tilgangen til nøytronkilder. Presentasjonen er et fundament for å drøfte mulige tap av nytte for samfunnet gjennom at valgmuligheter i fremtiden skrinlegges ved eventuell nedleggelse av reaktorene.
- Kapittel 4 omhandler kostnader knyttet til risiko for ulykker, normaldrift av reaktorene og lagring av radioaktivt avfall.
- I kapittel 5 drøftes konsekvenser for IFEs virksomhet av en eventuell nedleggelse av Haldenreaktoren eller JEEP II, samt mulige konsekvenser for Halden-miljøet ved en eventuell nedleggelse av JEEP II og for Kjeller-miljøet ved en eventuell nedleggelse av Haldenreaktoren.
- Med utgangspunkt i konsekvensene beskrevet i foregående kapittel, drøfter utvalget i kapittel 6 mulig tap av nytte for samfunnet ved eventuell nedleggelse av forskningsreaktorene.
- Kapittel 7 presenterer kostnader for ulike nedleggelses-scenarier, fra fullstendig dekommisjonering, eller såkalt ”green field”, til en minimumsløsning som kun innebærer stans av reaktordriften med tilhørende sikkerhetsforanstaltninger.
- Kapittel 8 inneholder ekspertutvalgets vurderinger av kostnader versus nyttegevinster ved fortsatt drift av reaktorene og ved eventuell nedleggelse.

2 Beskrivelse av virksomheten knyttet til atomreaktorene på Kjeller og ved Halden

2.1 Innledning

Forskningsreaktorene på Kjeller og ved Halden ble bygget og satt i drift i løpet av 1950- og 1960- årene som et ledd i industripolitiske prioriteringer for å utvikle kompetanse innen reaktorteknikk og industriell utnyttelse av kjerneenergi. Den første forskningsreaktoren i Norge, JEEP I, ble bygget på Kjeller og var i drift fra 1951 til 1967.[1] I begynnelsen var det selve reaktoren som var studieobjektet, men etter hvert ble aktiviteten gradvis utvidet til å inkludere både isotopproduksjon og nøytronforskning. På grunn av kapasitetsproblemer knyttet til produksjon av radioisotoper, oppsto det på slutten av 1950-tallet et behov for en forskningsreaktor med større eksperimentelle muligheter, større kapasitet for produksjon av radioisotoper og bedre driftssikkerhet enn JEEP I. Denne reaktoren ble derfor erstattet av JEEP II reaktoren som ble satt i drift i 1966. JEEP II er en 2 MW tungtvannsmoderert og tungtvannskjølt forskningsreaktor. Reaktoren opereres på atmosfæretrykk med moderatortemperatur på 55 °C. Reaktoren ligger i et stålhus, utformet som en sylindrisk tank med buet tak og plan bunn. Stålhuset er anleggets sikkerhetsinneslutning. Reaktoren er i døgnkontinuerlig drift ca. 10 måneder i året, med avstengningsperioder for ferie og vedlikeholdsarbeider. Forskningsreaktoren JEEP II på Kjeller representerer i dag en utstyrsinstallasjon med en anskaffelsesverdi til flere hundre millioner kroner. Den produserer nøytroner som er kritisk for undersøkelser av materialer ved nøytronspredning, isotopproduksjon til teknisk og medisinsk bruk og bestrålingsteknologi. JEEP II er nå den eneste av sitt slag i Norden. Bestrålt brensel på Kjeller blir lagret i tre atskilte bygninger og instituttets lagerkapasitet vil være tilstrekkelig til å dekke behovet i eventuelt kommende konsesjonsperiode (til og med 2018).

Institutt for energiteknikks anlegg på Kjeller i Skedsmo kommune ligger i utkanten av tettbebyggelsen på Kjelleområdet hvor det bor ca. 1 500 personer, hovedsakelig i eneboliger/småhus, og ca. 2 km nord for Lillestrøm der det bor ca. 10 000 mennesker. Det er per i dag definert en 300 meter sone omkring JEEP II reaktoren hvor det settes begrensninger på type bebyggelse og virksomhet som tillates. Andre restriksjoner på arealutnyttelsen i området omkring anleggene, forårsaket av IFEs virksomhet, foreligger ikke og heller ikke legger virksomheten hinder for den økonomiske utnyttelsen av området.

Parallelt med reaktorene på Kjeller ble det også bygget en forskningsreaktor i Halden. Den såkalte HBWR reaktoren (Halden Boiling Water Reactor) sto klar i 1959. Haldenreaktoren er nå i hovedsak et verktøy for et internasjonalt forskningsprogram der 20 land deltar. Forskningen fokuserer på brenselsteknologi, materialteknologi og tekniske systemer for å fremme reaktorsikkerhet og pålitelighet. Haldenreaktoren er en 25 MW tungtvannsmoderert og tungtvannskjølt reaktor med driftstrykk på 34 bar og driftstemperatur på 240 °C. Reaktoren er i drift ca. 50 % av året, mens den øvrige tiden nyttes til inn- og utlasting av eksperimentalutstyr og brensel, og til vedlikehold. Kontrollrommet er døgnbemannet året rundt. Ved reaktoranlegget er også lager for ubestrålt og brukt brensel. Brukt brensel lagres i reaktorhallen og i bunkerbygningen utenfor reaktorhallen. Lagrene ved Haldenreaktoren har i

[1] JEEP: Joint Establishment Experimental Pile

følge IFE tilstrekkelig kapasitet til å lagre det brenselet som genereres fra virksomheten i Halden frem til 2018.

Reaktoren i Halden ligger i en fjellhall på nordsiden av elven Tista, 2 km fra elvemunningen ut til Iddefjorden. Brenselsinstrumentverkstedet ligger sentralt i Halden by i IFE Haldens administrasjonsbygning. Halden kommune har 27 500 innbyggere, hvorav ca. 5 000 bor innenfor en radius på 1 km fra anlegget, og ca. 20 000 bor innenfor byen og de bynære områdene. Syd for anlegget, i en avstand av 25 km, ligger Strømstad i Sverige med 9 000 innbyggere.

Mer enn halvparten av IFEs totale virksomhet er direkte knyttet til instituttets to atomreaktorer (nukleær virksomhet), og IFE angir at hovedoppgavene for denne virksomheten er å:

- Utvikle lønnsom, sikker og miljøvennlig teknologi for petroleumsutvinning, energiproduksjon og energibruk
- Opprettholde og videreutvikle nasjonal kompetanse innenfor reaktorsikkerhet, strålevern og nukleærteknologi basert på Halden- og JEEP II-reaktorene
- Utnytte instituttets spesielle kompetanse innenfor nukleær sikkerhetsteknologi på andre samfunnsområder
- Drive grunnforskning i fysikk basert på JEEP II-reaktoren på Kjeller

Et hovedmål for IFE er å bidra til nasjonal teknologisk kompetanse og infrastruktur. Instituttet skal være det norske kompetansesenter for nukleærteknologi, og instituttet har som ambisjon å bli et ledende energiforskningsmiljø i internasjonal sammenheng.

2.2 Viktige prosjekter/aktivitet ved IFE Halden

Halden prosjektet (Fellesprogrammet)

Omtrent halvparten av IFEs virksomhet i Halden er knyttet til *OECD/NEA Halden Reactor Project (HRP)*. Prosjektet, som administreres av IFE, er et internasjonalt samarbeidsprosjekt med fellesfinansiering fra mer enn 100 organisasjoner i 17 medlemsland.[2] HRP er OECD/NEAs største og lengstlevende forskningsprosjekt (startet i 1958), og er fortsatt i dag det ledende internasjonale samarbeidsprosjektet på kjernekraftsikkerhetsforskning. Medlemmer i HRP er i hovedsak myndighetsrettede tilsynsorganer og organisasjoner som utfører reaktorsikkerhetsforskning. Prosjektet opereres i treårsperioder, og er nå inne i det siste året av 2006-2008 avtalen. Arbeid med en forlengelse av HRP gjennom en ny treårsavtale er i gang i regi av OECD/NEA.

Fellesprogrammets aktiviteter er rettet mot to hovedområder: Sikkerhetsforskning innenfor områdene brensel- og materialstudier og MTO-studier (Menneske-Teknologi-Organisasjon). Reaktoren er det sentrale anlegg for brensel- og materialforskningen i OECD/NEA og en vesentlig del av eksisterende data fra studier av brenseltyper til atomreaktoren kommer fra Halden. I tillegg til reaktoren, er HAMMLAB (Halden Man-Machine Laboratory) og HVCR (Halden Virtual Reality Center) de viktigste verktøyene for forskningsvirksomheten i Halden.

[2] Belgia, Danmark, Finland, Frankrike, Japan, Norge, Russland, Slovakia, Spania, Storbritannia, Sveits, Sverige, Sør-Korea, Tsjekkia, Tyskland, Ungarn og USA

IFE fremhever at et grunnleggende mål for Norges engasjement i Haldenprosjektet, er å opprettholde en nasjonal kompetanse i reaktorteknologi. Prosjektet skal også bidra effektivt til å opprettholde en tilfredsstillende beredskap mot ulykker, overvåke reaktoranlegg i våre nærområder, sikre norsk innflytelse i det internasjonale atomsikkerhetsarbeidet og styrke sikkerheten ved reaktoranlegg gjennom samarbeid og kompetanseoverføring knyttet til sikkerhetsteknologi.

Bilaterale prosjekter

IFE gjennomfører også forskning innenfor brensel- og materialområdet som ikke er del av HRP. Denne forskningen finansieres gjennom bilaterale avtaler og representerer ca. 50 % av forskningsvolumet ved Haldenreaktoren. IFE benytter også teknologi som er utviklet ved IFE Halden for den nukleære sektoren, til prosjekter for norsk industri på ikke-nukleære områder.

Sikkerhetskrav er i kontinuerlig utvikling så vel innenfor kjernekraftindustrien som i annen kompleks industri, og sikkerhet er et gjennomgående tema for de bilaterale prosjektene. IFE fremhever at virksomheten i Halden har stor fleksibilitet, spisskompetanse og et internasjonalt nettverk innen sikkerhetsforskning. Positive samspillseffekter oppnås gjennom samarbeidsprosjekter med ikke-nukleære industri- og forskningsmiljøer. Haldenreaktoren, HAMMLB og HVCR er basis for denne virksomheten.

2.3 Viktige prosjekter/aktivitet ved IFE Kjeller

Grunnforskning

Innenfor grunnforskningen anvendes nukleærtekniske metoder, først og fremst innenfor faststoff-fysikk og materialvitenskap. Innenfor materialvitenskapen er nøytronspredning og nøytrondiffraksjon blant de mest effektive metodene for kartlegging av materialers egenskaper og struktur. Nøytronstråler er nødvendig når en skal undersøke viktige energimaterialer. Slik forskning foregår ved forskningsreaktoren JEEP II. Reaktoren har en eksperimentell utrustning som gir spesielle eksperimentelle muligheter blant annet for studier av nanomaterialer. JEEP II har også vist seg å bli stadig viktigere i internasjonalt forskningssamarbeid innen avansert materialforskning, på grunn av en økende mangel på egnete nøytronkilder i Europa.

En viktig del av denne forskningen er rettet mot effektiv og sikker lagring av hydrogen, som er et uløst problem for realisering av ”hydrogensamfunnet”. IFE står som koordinator for et stort EU-finansiert prosjekt på feltet og er også sentral deltager i funksjonelle materialer innen Norges forskningsråds NANOMAT program[3]. JEEP II på Kjeller er derfor sentral og avgjørende for IFEs og Norges internasjonale engasjement innen hydrogenlagring. IFE Kjeller er også sentral i forskningssamarbeidet med UiO og NTNU og SINTEF i Trondheim på funksjonelle og komplekse materialer og prosesser, som er et raskt økende forskningsfelt internasjonalt med tema som strekker seg fra nanoteknologi til biologiske systemer og prosesser, jf. de nasjonale forskningsprogrammene COMPLEX[4] og FUNMAT[5]. JEEP II er viktig i karakterisering av systemer med karbon nanorør. Nanorør er ekstremt sterke og

[3] Nanoteknologi og nye materialer, nanovitenskap og integrasjon

[4] Norsk strategisk samarbeid mellom NTNU, UiO og IFE i en nasjonal og internasjonal satsing innenfor komplekse systemer og myke materialer

[5] Norsk strategisk samarbeid mellom NTNU, UiO, SINTEF og IFE innenfor funksjonelle materialer

fleksible med unike egenskaper og vil kunne finne anvendelser innen mange felt som f.eks. sterke plastkompositter og biomedisin. Nukleærtekniske metoder anvendes også i grunnforskningen innenfor andre områder som geofag/geologi og korrosjonsstudier/ metallurgi.

Anvendelser

Et viktig område er anvendelser av nukleær teknologi innenfor sporstoffteknikk for kartlegging av oljereservoarer og utvikling av optimale strategier for produksjon av olje og gass. Instituttets basiskompetanse innenfor nukleærteknologi, som i sin tid ble etablert for industriell utnyttelse av kjerneenergien, har vært en sentral forutsetning for de nyvinninger som instituttet står bak når det gjelder petroleumsrelatert forskning og utvikling. Nøytronbestråling brukes også til å dope (neutron transmutation doping) av superrent silisium for anvendelse i halvlederindustrien. Nukleærbaserte metoder og teknikker har anvendelser innenfor dagens medisin, der mye av moderne diagnose og terapi innenfor kreftbehandlingen baseres på en bred nukleær- og strålingsteknisk basis. I henhold til IFEs årsberetning for 2006 omfattet bestrålingsaktiviteten ved JEEP II-reaktoren:

- *Produksjon av radioaktive isotoper for tekniske og medisinske formål*. Industrielle kontrollkilder som bl.a. benyttes til nivåvakter og mengdemålere. Tracere for deteksjon og kvantifisering av lekkasjer innen så forskjellige systemer som kommunalteknikk og kjernekraftverk. Tracere benyttes også for kartlegging av strømningsforhold i oljereservoar.
- *Aktiveringsanalyser*. Når en prøve bestråles med nøytroner, dannes radioaktive isotoper av de fleste elementer i prøven. Strålingen fra disse isotopene kan benyttes til å bestemme konsentrasjonen av prøvens bestanddeler. Metoden som er svært følsom, benyttes først og fremst til sporanalyser. Prøvene kan være biologisk materiale, miljøprøver eller industrielle forbindelser.
- *Doping av silisium*. Ved nøytronbestråling av silisium dannes en radioaktiv isotop som desintegrerer til stabilt fosfor. På denne måten kan halvledermateriale dopes med vesentlig større presisjon og nøyaktighet enn det som oppnås ved kjemisk doping (diffusjon). Metoden benyttes først og fremst der hvor det stilles spesielle krav til kvalitet og til komponenter for svært høye effekter. Alle de store aktørene i dette markedet får utført bestrålinger ved JEEP II.

IFE har også ansvar for et nasjonalt senter for behandling av fast og flytende lavt og middels radioaktivt avfall fra industri, forsvar, helsevesen og forskning. IFEs lager for radioaktivt avfall (Radavfallsanlegget) tar imot, behandler og lagrer denne type avfall. IFE har i tillegg et nasjonalt kompetansesenter for håndtering av radiofarmaka, og står også for driften av det kombinerte lager og deponi for radioaktivt avfall i Himdalen (KLDRA). Lagring innebærer at det skal være mulig å inspisere avfallet, eventuelt fornye behandlingen eller omplassere det. Deponering innebærer at avfallet støpes inn.

2.4 Finans/Økonomi

Stiftelsen IFE har i 2006 (2005) hatt en omsetning på 533,5 millioner kroner (484,1), hvorav 305,9 millioner kroner (268,9) fra virksomheten på Kjeller og 227,6 millioner kroner (215,2) fra virksomheten i Halden. Stiftelsens årsresultat var på 26,0 millioner kroner (13,1).

Halden

Inntektskildene til aktiviteten ved IFEs anlegg i Halden er todelt, *Fellesprogrammet (HRP*) som i hovedsak er finansiert av norske og utenlandske myndigheter, og *bilaterale kontrakter* med norske og utenlandske institutter, offentlige institusjoner og bedrifter. Tabell 1 viser en oversikt over finansieringen av de forskjellige delene av forskningsaktiviteten i Halden:

Tabell 1 Finansiering av aktiviteten ved Halden for årene 2000-2006, tall i mill. kroner

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Fellesprogram							
- Utenlandske bidrag	68,74	69,11	70,55	64,31	67,50	67,42	69,06
- Norsk statstilskudd	29,50	29,50	29,50	29,50	37,00	37,00	38,05
- IFE bidrag*)	5,50	5,50	6,50	7,50	2,50	3,00	3,00
Totalt fellesprogram	**103,74**	**104,11**	**106,55**	**101,31**	**107,00**	**107,42**	**110,11**
Bilaterale oppdrag							
- Brensel/Material	74,85	77,01	83,24	71,80	65,58	74,06	80,16
- MTO	28,48	31,39	33,34	30,16	28,74	34,21	38,66
derav SIP	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00
Totalt bilaterale oppdrag	**103,33**	**108,40**	**116,58**	**101,96**	**94,32**	**108,27**	**118,82**
Total omsetning	**207,07**	**212,51**	**223,13**	**203,27**	**201,32**	**215,69**	**228,93**

*) IFEs bidrag til Fellesprogrammet blir tatt fra IFEs overskudd på bilaterale oppdrag (egenkapital). I tabellen er dette bidraget ikke tatt med i beløpet for bilaterale oppdrag, slik at summen (total omsetning) er korrekt.

Kilde: IFE

Finansieringen til Fellesprogrammet er delt mellom de land som deltar i programmet. Norge, som vertsnasjon, står inne med om lag 37 % av finansieringen i 2006, en andel som har økt fra omkring 34 % i år 2000. Sammenlignet med andre OECD-sponsede prosjekt er Norges andel til fellesprogrammet forholdsvis beskjedent, da det vanlige er at vertsnasjonen bidrar med mellom 50 og 70 %. For Norges del er Fellesprogrammet offentlig (myndighets) finansiert, idet Haldens andel av IFEs grunnbevilgning (statstilskuddet) i sin helhet settes inn på Fellesprogrammet. Felleprogrammets aktivitet fordeler seg med 40 % på MTO-aktiviteter og 60 % på NuSP-aktiviteter (nukleær sikkerhet og pålitelighet): brensel og materialstudier.

Om lag 2/3 av de bilaterale oppdragene knytter seg til aktiviteten brensel/material. For 2003-2004 falt aktiviteten betraktelig. I denne perioden sto reaktoren i noen ekstra måneder for en reparasjon samtidig som det var mindre pågang av prosjekter, noe som delvis forklares med strammere tider, spesielt i Japan der en stor del av oppdragmengden kommer fra, og delvis med at sterk kronekurs bidro til å svekke IFEs konkurranseevne.

Drift av reaktoren, som i 2006 utgjorde en samlet kostnad på om lag 67 millioner kroner (55 millioner kroner til lønn og 12 millioner kroner til drift og vedlikehold), bæres av Fellesprogrammet og bilaterale oppdrag. Tiltak for å redusere risikoen for ulykker er en del av det fortløpende vedlikeholdet av reaktoren og inkludert i driftsbudsjettet. Den største delen,

anslagsvis 8 millioner kroner er nyttet til tiltak som har med reaktorsikkerhet å gjøre, mens resten går til forbruk (elektrisitet, vann, brensel, tungtvann), bedre effektivitet, opplæring, etc. Reaktoren anses å være i bra stand gjennom det sikkerhetsarbeidet som tidligere er gjennomført, se utdypning av dette tema i avsnitt 4.3, og preventivt vedlikehold og sikkerhetsrelaterte tiltak forventes derfor også i framtiden å bli gjennomført som del av det normale driftsbudsjettet.

Kjeller

Virksomheten på Kjeller hadde i 2006 (2005) en omsetning på 305,9 (268,9) millioner kroner, hvorav 159,6 (156,9) gikk til finansiering av den nukleære delen av virksomheten. Dersom man ser på tidsrommet 2000-2006 samlet, sett har veksten for denne virksomheten vært på 39 prosent (44,6 mill. kr), jf. Tabell 2. I samme periode har tilskuddet fra departementet holdt seg stabilt målt i nominelle kroner, men på grunn av veksten i aktivitetsnivået har departementets andel til finansieringen gått noe ned, fra 32 % til 24 %. For de tre siste årene har det imidlertid kommet inn betydelig mer offentlige midler i form av prosjektmidler fra NFR. Samlet sett har derfor de offentlige midlene, i form av tilskudd og prosjektmidler, gått svakt opp for perioden.

De innenlandske inntektene fra oppdrag har økt i nominelle kroner, men som andel av den totale finansieringen har denne posten vært avtagende, fra 65 % i 2000 til 57 % i 2006. På den annen side har de utenlandske oppdragsinntektene vært noe økene for samme perioden.

Tabell 2 Finansiering av den nukleære delen av aktiviteten på Kjeller for årene 2000-2006, tall i mill. kroner

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Tilskudd departementet	36,5	37,0	35,0	35,0	35,5	36,5	37,5
Prosjektmidler NFR	0,4	1,1	1,9	2,4	17,3	10,8	19,4
Prosjektmidler EU og Nordisk	0,0	0,6	0,3	2,8	3,8	3,5	2,9
Oppdragsinntekter Norge	74,6	77,6	82,3	92,0	96,4	98,1	90,7
Oppdragsinntekter utlandet	3,5	2,9	4,2	4,3	4,0	8,0	9,1
SUM	**115,0**	**119,2**	**123,7**	**136,5**	**157,0**	**156,9**	**159,6**

Kilde: IFE

Den nukleære virksomheten omfatter all virksomhet som er knyttet til reaktorens drift og til oppdrag med bestråling og håndtering av radioaktivt avfall (Radavfallsanlegget er med her), samt grunnforskning som benytter nøytronstråler fra reaktoren. Tabell 3 viser hvordan finansieringen i 2006 var fordelt på de forskjellige aktivitetene.

Tabell 3 Finansiering av nukleær virksomhet i 2006 fordelt på underposter, tall i mill. kroner

Tilskudd fra Departementet	**37,5**	
- Drift av JEEP II		19,4
- Grunnforskning i fysikk		10,5
- Div tjenester og myndighetsoppgaver		7,6
Prosjektmidler NFR	**19,4**	
Prosjektmidler EU og Nordisk	**2,9**	
Oppdragsinntekter	**99,8**	
- Radiofarmaka		45,0
- Bestrålingsoppdrag		14,6
- Strålevernsoppdrag		13,4
- Elektronstrålesveising		13,0
- Avfallsoppdrag		8,0
- Materialforskning i fysikkavdelingen		3,8
- Annet		2,0
SUM	**159,6**	

Kilde: IFE Kjeller

Når det gjelder virksomheten ved Fysikkavdelingen, er det bare beløpet som IFE forsker for lokalt som er tatt med, og ikke deler av beløpet som IFE får tildelt, men som videresendes til andre samarbeidspartnere. Brukere av Radavfallsanlegget betaler hva det koster, bortsett fra at det er satt av 0,4 millioner kroner av tilskuddet fra Departementet til dette.

Drift av JEEP II, som i 2006 utgjorde en samlet kostnad på nær 25 millioner kroner (herav omkring 18 millioner kroner til lønn), ble dekket av midler fra Departementet (19,4 mill. kr) og overføringer fra inntekter ved bestrålingstjenester.

Virksomhet som er relatert til olje-, miljø- og energiprosjekter er for en stor del basert på ikke-nukleære metoder og er ikke med her. Til sammen er dette en omsetning på nær 150 millioner kroner.

2.5 Akademisk samarbeid og resultater

I det følgende presenteres IFE-miljøets deltakelse på den internasjonale forskningsarenaen og det gis en oppsummering av vitenskaplig publisering, konferansebidrag og undervisningsoppdrag i UoH-sektoren.

Halden

Forskningen ved IFE Halden foregår i hovedsak innenfor det internasjonale Haldenprosjektet og er finansiert av deltagerne. Haldenprosjektet samarbeider med FoU-institusjoner i de 16 utenlandske deltagerlandene og Canada, samt FoU-institusjoner i Norge. I 10 land er hovedsignataren i Haldenprosjektet et nasjonalt forskningsinstitutt: Nuclear Research Centre (SCK/CEN), Belgia; Nuclear Research Institute, Tsjekkia; Risø National Laboratory, Danmark; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), Tyskland; KFKI Atomic Energy Research Institute, Ungarn; Japan Atomic Energy Agency, Japan; Korean Atomic Energy Research Institute, Korea; National Research Center ”Kurchatov Institute”, Russia; Nuclear Power Plant Research Institute-VUJE, Slovakia og Centro de Investigaciones Energeticas, Medioambientales y Tecnologicas (CIEMAT), Spania.

I noen av deltagerlandene er FoU-institusjoner med og finansierer deltagelsen i Haldenprosjektet sammen med hovedsignataren: dette gjelder Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), Japan og Electric Power Research Institute (EPRI) og Westinghouse og Global Nuclear Fuel- Americas (General Electric) sine FoU-avdelinger, USA.

I Frankrike er Electricite de France (EdF) signatar og Haldenprosjektet samarbeider med EdFs forskningsavdelinger i Lyon og Paris. I Storbritannia er BNFL (British Nuclear Fuels) signatar og Haldenprosjektet samarbeider med deres FoU-avdeling. I Finland representerer det nasjonale FoU-instituttet VTT FoU-samarbeidet med Haldenprosjektet. I tillegg inngår andre forskningsinstitutter og universiteter fra deltagerland der sikkerhetsmyndighetene er signatar, f.eks. Paul Scherrer Institute, Sveits; Idaho National Lab, Argonne National Lab, Brookhaven National Lab og University of Tennessee, USA; Chalmers, KTH og Linkøping universitet, Sverige; University of Toronto og University of Waterloo, Canada og Kyoto universitet, Japan.

Samarbeidet med FoU-institusjonene i deltagerlandene er essensielt for FoU-virksomheten i Halden. Haldenprosjektets ”forretningside” er internasjonalt FoU-samarbeid og kontakten med de ledende FoU-miljøene i deltagerlandene sikrer at Haldenprosjektets forskning har de viktigste atomsikkerhetsspørsmålene på agendaen. I tillegg skal prosjektet sikre tilgang til de nyeste forskningsresultatene innen fagfeltene det arbeides på i Halden, samt gi synergieffekter gjennom koordinering av forskningen i de ulike institusjonene og forhindre dobbeltarbeid.

Resultatene fra Haldenprosjektet rapporteres i interne rapportserier. Reglene for spredning av vitenskapelige resultater i Haldenprosjektet (Halden Agreement) sier at resultatene bare er tilgjengelig for deltagerorganisasjonene og ikke skal publiseres i åpen litteratur. Først etter fem år blir resultatene (rapportene) allment tilgjengelige. Unntak fra denne regelen krever samtykke fra Haldenprosjektets internasjonale styre (Halden Board of Management). Denne restriksjonen fører til at IFE Halden har relativt få publikasjoner i vitenskapelige tidsskrift. I den grad det publiseres utenfor intern rapportserie, vil dette vanligvis være artikler til internasjonale konferanser innen fagområdene det forskes på i Haldenprosjektet. Styret i Haldenprosjektet anser deltagelse i slike konferanser som viktig for å danne nettverk og initiere samarbeid.

Mange av Haldenprosjektets bilaterale oppdragsgivere publiserer også artikler til internasjonale konferanser med resultater fra eksperimenter og bilaterale forskningsprosjekter ved Haldenprosjektet/IFE Halden. Det totale antall konferanseartikler som presenterer forskningsresultater fra Halden er derfor større enn antall artikler, jf. oversikten i Tabell 4.

Tabell 4 Internasjonal publisering og konferansepresentasjoner 2004-2006, Halden

	2004	**2005**	**2006**
Vitenskapelige publiseringer med referee	6	6	2
Deltakelse på internasjonale konferanser med paper-presentasjon	34	37	30

IFE Halden utfører i tillegg forskning finansiert av Forskningsrådet og oppdragsforskning for norsk næringsliv. I den grad dette godkjennes av oppdragsgiver publiseres dette i vitenskapelige tidsskrift eller presenteres på konferanser.

Haldenprosjektet arrangerer to store internasjonale konferanser i Norge i løpet av en programperiode (tre år), såkalte Enlarged Halden Programme Group Meetings (EHPG). I inneværende periode (2006-2008) ble det avholdt en slik konferanse i mars 2007 på Storefjell og neste konferanse arrangeres i Loen i mai 2008. Hensikten med disse møtene er å rapportere

resultatene fra forskningen ved Haldenprosjektet og å presentere resultater fra forskning på de samme områdene i deltagerorganisasjonene. Deltagelsen er begrenset til forskere fra deltagerlandene i Haldenprosjektet. Antall deltagere er ca. 200, der omtrent 50 er fra Norge (hovedsaklig fra IFE). På konferansene presenteres over 100 papers og rapporter (110 på Storefjell i 2007). Diskusjonene på disse konferansene er viktig input for å innrette forskningen i Halden på viktige problemstillinger for deltagerorganisasjonene. Videre oppdateres IFEs forskere på de nyeste forskningsresultater i deltagernasjonene. I tillegg til EHPG-møtene arrangeres det årlig en rekke spesialist-workshoper på utvalgte fagområder i forskningsprogrammet ved Haldenprosjektet, typisk 3-5 workshoper pr. år. Disse avholdes vanligvis i Halden med 20-30 deltagere. Hensikten med disse workshopene er å diskutere i detalj problemstillinger på fagområdet for å komme fram til anbefalinger til den internasjonale tekniske styringskomiteen for Haldenprosjektet, Halden Programme Group, om videre forskning i Halden på det aktuelle forskningsområdet. Deltagerne er spesialister på det aktuelle fagområdet fra deltagernasjonene. I disse workshopene, spesielt på MTO-området, deltar det også i noen grad norske forskere fra andre miljøer enn IFE Halden.

Haldenprosjektet samarbeider med Psykologisk Institutt, NTNU på området menneskelige faktorer (human factors). En førsteamanuensis ved psykologisk institutt er tilknyttet IFE Halden i en 20 % stilling. Samarbeidet er spesielt knyttet til Bachelor og Masterprogrammet i psykologi ved instituttet. IFE Halden assisterer Psykologisk Institutt ved å bidra med veileder for doktorgrads- og hovedfagsstudenter, samt at personell fra IFE Halden i noen grad holder kurs ved NTNU.

Siden 2000 har Haldenprosjektet også arrangert årlige internasjonale sommerskoler, der det undervises i de fagområdene det drives forskning på i Halden. I snitt deltar ca. 40 studenter på disse sommerskolene. Deltakerne i Haldenprosjektet har også mulighet til å sende gjesteforskere til Halden for å delta i det løpende forskningsprogrammet. Disse gjesteforskerne oppholder seg i Halden i ett til to år. Denne ordningen fungerer også som en slags ”ekspertutdannelse”.

Ved Høgskolen i Østfold (HiØ), avdeling for informatikk, har forskere fra IFE Halden i perioden 2004-2006 hatt ansvar for og forelest følgende kurs:

- ITI45104 Modellering og utvikling av 3D virtuelle omgivelser – 15 studiepoeng, Master Informatikk
- ITI46205 Grensesnittdesign – 15 studiepoeng, Master Informatikk
- IRD30506 000 Interaksjonsdesign – 10 studiepoeng, Bachelor Industridesign
- I 2004-2005 foreleste forskere fra IFE Halden kurset: Software Engineering – 15 studiepoeng
- En førsteamanuensis ved HiØ er gjennom en samarbeidsavtale mellom IFE Halden og HiØ tilknyttet IFE Halden i en 20 % stilling

Bachelor og MSc studenter har i perioden utført prosjekt/hovedfagsoppgaver ved IFE Halden med IFE Halden forskere som veiledere.

IFE Halden har også samarbeidet med andre institusjoner ved at studenter har utført prosjekt- og hovedfagsoppgaver ved IFE Halden med forskere fra Halden som veiledere og ved at forskere fra IFE Halden har vært sensorer ved disse institusjoner. Dette gjelder foruten institusjonene beskrevet ovenfor: UiO, Informatikk; NTNU, Teknisk Kybernetikk og Fysikk; Høgskolen i Telemark og Høgskolen i Akershus.

Kjeller

Siden åpningen av den første JEEP I reaktoren på Kjeller i 1951, videreført gjennom reaktoren JEEP II, har IFE-miljøet knyttet til nøytronvitenskap, isotopproduksjon og nøytronspredning vært en aktiv deltaker i et europeisk nettverk av nøytronkilder. Innen disse fagområdene har miljøet høstet anerkjennelse for utviklingen av nøytronspredningsmetoder, i tillegg til andre vitenskapelige gjennombrudd for arbeider knyttet til JEEP II. Med utgangspunkt i kompetansen vedrørende nøytronspredning, deltar IFE med JEEP II i seks EU-programmer og flere andre internasjonale programmer, noe som bidrar til kunnskapsoverføring og integrasjon mellom nasjonale og internasjonale nettverk. For IFEs miljø på Kjeller gjelder denne kunnskapsoverføringen spesielt innen nye materialer og nanoteknologi. En bekreftelse på at forskerne og det vitenskapelige arbeidet som utføres ved Fysikkavdelingen holder et internasjonalt nivå og er relevant for forskningsfronten, er at personer fra miljøet benyttes i akademisk evalueringsarbeid. Konkret innebærer det at forskere fra IFE oppnevnes som opponenter ved PhD-disputaser, brukes som ”referee” for vitenskapelige artikler til internasjonale tidsskrift, som medlemmer av bedømmelseskomiteer ved vitenskapelige ansettelser, som medlemmer av programkomiteer for internasjonale konferanser og som prosjektevaluator på internasjonale prosjekt. Fysikkavdelingens internasjonale nettverk inkluderer nærmere 40 universiteter og forskningsinstitutt i ca. 20 land.

Den nukleære virksomheten som drives på Avdeling for Reservoir og Leteteknologi (ReLe) innenfor petroleumsforskningen har stor nytte av å delta aktivt i internasjonale fora, som for eksempel EU-prosjekter der miljøet også bidrar som prosjektevaluatorer. Ytterligere involvering begrenses imidlertid av at Norge ikke er medlem i EURATOM. Likevel har avdelingen etablert seg på et internasjonalt nivå innenfor tracerteknologi, og slik får instituttet tilgang til andre laboratorier som jobber innenfor samme fagområde og mottar selv utenlandske delegasjoner. Gjennom dette samarbeidet får forskerne kunnskap om status på de aktuelle fagfelt, som knyttes direkte inn i FoU-arbeidet, samt til å generere nye FoU-prosjekter for industrien. Avdelingen har samarbeid med et 20-talls universiteter, forskningsinstitutter og -laboratorier i rundt 20 land.

I følgende to tabeller gis en oversikt over internasjonalt publiseringsarbeid og konferansebidrag knyttet til nukleærvirksomheten på Kjeller i løpet av årene 2004 til 2006, fordelt på Fysikkavdelingen, ReLe og Miljø og Strålevern. Antall publiserte artikler i vitenskapelige tidsskrifter med referee-ordning vises i Tabell 5 og antall presentasjoner på internasjonale konferanser vises i Tabell 6.

Tabell 5 Presentasjon av artikler på internasjonale konferanser, 2004-2006, Kjeller

	2004	**2005**	**2006**
Fysikkavdelingen	29	30	43
Nukleær FoU v/avd ReLe	6	3	7
Nukleær FoU v/avd Miljø og strålevern	9	13	4
Totalt	**44**	**46**	**54**

Tabell 6 Vitenskapelige publiseringer med referee, 2004-2006

	2004	2005	2006
Fysikkavdelingen	23	26	32
Nukleær FoU v/avd ReLe	0	3	6
Nukleær FoU v/avd Miljø og strålevern	0	4	1
Totalt	**23**	**33**	**39**

For årene 2004 til 2007 er det publisert fem doktorgradsavhandlinger og fem mastergradsoppgaver ved Fysikkavdelingen og en doktorgradsavhandling ved avdeling for Miljø- og strålevern.

Det er et mål for IFE Kjellers energiforskningsvirksomhet å være oppdatert med hensyn til markedets behov og problemstillinger, samtidig som nær kontakt med relevante grunnforskningsmiljøer opprettholdes. Instituttet har i dag til sammen ni professor II-stillinger ved UiO, NTNU og ved Imperial College, London, UK, samt en førsteamanuensis II-stilling. Professorer fra UiO har også 20 eller 10 % stillinger ved Instituttet. Instituttet samarbeider med UiO på feltene 1) materialforskning og nanoteknologi, 2) flerfasestrømning og matematisk modellering og 3) nukleærteknologi (kjernekjemi, kjernefysikk og nukleærfarmasi). Instituttet har også et medlem i Mat.-Nat. fakultetsstyre ved UiO.

I Tabell 7 gis en oversikt over kurs der forskere ved IFE Kjeller deltok innen fagfeltene materialer og nanoteknologi og nukleærteknologi mellom 2004 og 2007.

Tabell 7 Fag på universitetsnivå undervist av forskere ved IFE Kjeller 2004-2007

År	Kurs/studium	Stilling/tilknytning
2004	FYS4430 Kondenserte fasers fysikk II MEF 3000 Energimaterialer FYS-KJM 4570 Strålevern og strålingssikkerhet FRM 3001 Radiofarmaka - del av KJM 5900 Radioaktivitet*) KJM 5910 Radiokjemi*) KJM 5940 Ekstraksjon og ionebrytting*)	Prof. II UiO Prof. II UiO To IFE-forskere foreleser To IFE-forskere foreleser Prof. II UiO Prof. II UiO Prof. II UiO
2005	FYS4430 Kondenserte fasers fysikk II MEF 3000 Energimaterialer FYS-KJM 4570 Strålevern og strålingssikkerhet FRM 3001 Radiofarmaka - del av KJM 5900 Radioaktivitet*) KJM 5910 Radiokjemi*) KJM 5940 Ekstraksjon og ionebrytting*)	Prof. II UiO Prof. II UiO To IFE-forskere foreleser To IFE-forskere foreleser Prof. II UiO Prof. II UiO Prof. II UiO
2006	FYS4430 Kondenserte fasers fysikk II MEF 3000 Energimaterialer TFY11 Lys- nøytron og røntgenspredning FYS5440 Neutron scattering methods for materials research FYS-KJM 4570 Strålevern og strålingssikkerhet FRM 3001 Radiofarmaka - del av KJM 5900 Radioaktivitet*) KJM 5910 Radiokjemi*) KJM 5940 Ekstraksjon og ionebrytting*)	Prof. II UiO Prof. II UiO Prof. II NTNU Fire IFE-forskere foreleser To IFE-forskere foreleser To IFE-forskere foreleser Prof. II UiO Prof. II UiO Prof. II UiO
2007	FYS4430 Kondenserte fasers fysikk II MENA 3200 Energimaterialer TFY11 Lys- nøytron og røntgenspredning FYS-MENA3110 Kvantenanofysikk FYS-KJM 4570 Strålevern og strålingssikkerhet FRM 3000 Radiofarmaka - del av KJM 5900 Radioaktivitet*) KJM 5910 Radiokjemi*) KJM 5940 Ekstraksjon og ionebrytting*)	Prof. II UiO Prof. II UiO Prof. II NTNU Førsteamanuensis II UiO To IFE-forskere foreleser To IFE-forskere foreleser Prof. II UiO Prof. II UiO Prof. II UiO

*) Master- og doktorgradsnivå

I løpet at 2004-2007 har det også pågått veiledning av fra 2-7 mastergradskandidater og 2-6 doktorgradskandidater.

IFE underviser også i et nasjonalt kurs hvert andre år (15 timer) for å utdanne bioingeniører innen håndtering av radiofarmaka på sykehus. Dette er et kurs med eksamen som er nødvendig for at deres spesialistutdannelse innen nukleærmedisin skal kunne godkjennes. Kurset omfatter ca. 20 studenter. I tillegg underviser IFE årlig ved Reseptarutdanningen (2 timer pr år) og Radiografiutdanningen (1 time pr. år) ved Høgskolen i Oslo. Ved etterspørsel tilbyr IFE kurs i 1) strålevern for strålevernsansvarlige i olje- og gassproduksjon, 2) kurs i klassifisering av komponenter ved LRA (lavradioaktivt avfall)-scale for oljeselskaper og baser på land, 3) kurs i strålevern ved bruk av industrielle kontrollkilder for brukere av industrielle kontrollkilder, 4) kurs i beskyttelse mot stråling i forbindelse med terroranslag eller radioaktivt materiale ute av kontroll og 5) kurs i lovverk rundt transport av radioaktivt gods.

I tillegg har Fysikkavdelingen annethvert år arrangert internasjonale forskerkurs på Geilo over ti dager med nærmere 100 deltagere fra 20-30 ulike nasjonaliteter. Geilo-skolene har vært finansiert av NATO Science Office, med den offisielle betegnelsen "NATO Advanced Study Institute". Geilo-skolene har høy internasjonal anseelse og gir norske akademiske forskningsmiljøer en unik mulighet til å tilegne seg kunnskap på forskningsfronten og å bygge opp faglige nettverk på sentrale områder innen materialvitenskap.

2.6 Risikofaktorer knyttet til drift

I det følgende presenteres instituttets vurdering av risikofaktorene knyttet til normaldrift ved Haldenreaktoren og JEEP II-reaktoren og konsekvensene dersom en ulykke ved en av reaktorene skulle inntreffe.

2.6.1 Halden (HBWR)

Normaldrift

Instituttet har overvåket radioaktivitet i naturmiljøet rundt anlegget i Halden fra 2000. Prøver tas fra nedbør, drikkevann, strandsand, gress, jord, fisk, urinprøver fra befolkning og sedimenter fra utslippsstedet for lavaktivt vann fra reaktoranlegget. I tillegg overvåkes den eksterne strålingen med områdedosimetre. Bortsett fra sedimentene ved utslippsstedet i elven Tista, er det ikke påvist radioaktivitet som kan tilbakeføres til virksomheten. IFEs utslipp av radioaktive stoffer ligger med få unntak på mindre enn 30 % av de utslippsgrenser myndighetene har satt. Disse utslippene kan føre til en effektiv dose til individer i utsatte grupper på 1 % av dosene man får fra den naturlige bakgrunnstrålingen.

IFEs behandling og lagring av radioaktivt avfall skjer i henhold til nasjonale myndighetskrav og internasjonale retningslinjer, og påvirker ikke miljøet omkring Haldenreaktoren. Årlig produksjon av høyaktivt avfall er ca. 60 kg, tilsvarende et volum i underkant av 10 liter. Det mellomaktive og lavaktive avfallet transporteres til Norges nasjonale kombinerte lager og deponi i Himdalen i Aurskog-Høland kommune, åpnet i 1998.

Ulykke

I sikkerhetsanalysene, nærmere beskrevet i kapittel 4, vurderes konsekvenser av ulike scenarier. Scenariene omfatter forhold fra driftsforstyrrelser til meget alvorlige uhell. Det tas ikke stilling til hva som er utløsende årsaker; dvs. om uhellet er driftsindusert eller forårsaket av ondsinnet villet handling. En reaktorulykke ved HBWR, med totalt tap av kjølevann, vil føre til at personer som befinner seg i en avstand på 400 meter fra reaktoren i vindretningen, vil kunne bli eksponert for en effektiv dose på 2 til 3 mSv, dersom det ikke settes inn mottiltak.[6] Dette er doser lavere enn laveste grense hvor det i internasjonale retningslinjer anbefales å iverksette mottiltak for å redusere dosene. IFE vil imidlertid anbefale myndighetene at det går ut melding om innendørsopphold. Utslipp av radioaktive stoffer ved en ulykke vil medføre at bakken i området omkring reaktoren, i vindretningen, vil bli radioaktivt forurenset. I Halden vil jodforurensningen kunne medføre at det blir satt

[6] Energioverføringen pr masseenhet kaller stråledose eller bare dose. Dose til organer og organismer måles i enheten sievert (forkortes Sv). I strålevern brukes ofte mSv (millisievert = 1/1000 Sv). I Norge er det satt en grense for den årlige dosen til yrkeseksponerte på 20 mSv. For individer i befolkningen er den årlige dosegrensen 1 mSv. Dosegrensene inkluderer ikke doser mottatt fra naturlig bakgrunnsstråling og fra medisinske undersøkelser og behandling. (Kilde: IFE)

restriksjoner på grønnsaksproduksjon i et område inntil 4 500 meter fra HBWR. Restriksjonene vil kunne bli opprettholdt i én til to uker.

Sikkerhetsanalysene viser også at konsekvensene av en enda mer alvorlig reaktorulykke ved HBWR, hvor det i tillegg til totalt tap av kjølevann også skjer lekkasje ut av åpne ventilasjonskanaler og flere sikkerhetssystemer svikter, er innenfor det internasjonale atomenergibyrået IAEAs anbefalte grenser i forbindelse med sikkerhet ved forskningsreaktorer. Deterministiske effekter som følge av en slik ulykke kan utelukkes. Ved en slik ulykke vil det bli restriksjoner for konsum av grønnsaker i vekst som vil kunne oppheves gradvis i løpet av en måned.

2.6.2 Kjeller (JEEP II reaktoren)

Normaldrift

Instituttet har overvåket radioaktivitet i naturmiljøet rundt anlegget på Kjeller over flere tiår. Prøver fra luft, nedbør, jordbruksprodukter, gress, jord, vann, vannplanter, fisk og sedimenter fra utslippsstedene for lavaktivt vann fra IFE har blitt analysert. Bortsett fra sedimentene ved utslippsstedet i Nitelva, er det ikke påvist radioaktivitet som kan tilbakeføres til virksomheten. IFEs utslipp av radioaktive stoffer ligger med få unntak på mindre enn 30 % av de utslippsgrenser myndighetene har satt. Disse utslippene kan føre til en effektiv dose til individer i utsatte grupper på 1 % av dosene man får fra den naturlige bakgrunnstrålingen. IFEs behandling og lagring av radioaktivt avfall skjer i henhold til nasjonale myndighetskrav og internasjonale retningslinjer, og påvirker ikke miljøet omkring anlegget på Kjeller. Årlig produksjon av høyaktivt avfall er ca. 15 kg, tilsvarende et volum i overkant av 1 liter. Det mellomaktive og lavaktive avfallet transporteres til Norges nasjonale kombinerte lager og deponi i Himdalen (KLDRA).

Ulykke

I sikkerhetsanalysene vurderes konsekvenser av ulike scenarier. Scenariene omfatter forhold fra driftsforstyrrelsen til meget alvorlige uhell. Det tas ikke stilling til hva som er utløsende årsaker; dvs. om uhellet er driftsindusert eller forårsaket av ondsinnet villet handling. En reaktorulykke ved JEEP II-reaktoren, med totalt tap av kjølevann, vil gi en dosebelastning til personer som befinner seg i en avstand på 300 meter fra reaktoren, summert over de første 24 timer, på opp til 7 mSv dersom det ikke settes inn mottiltak. Dette er doser lavere enn laveste grense hvor det i internasjonale retningslinjer anbefales å iverksette mottiltak for å redusere dosene. IFE vil imidlertid anbefale at det går ut melding om innendørsopphold og at de nærmeste beboere evakueres for en kortere tid. Utslipp av radioaktive stoffer ved en ulykke vil medføre at bakken i området omkring reaktoren, i vindretningen, vil bli radioaktivt forurenset. På Kjeller vil jodforurensningen kunne medføre at det blir satt restriksjoner på grønnsaksproduksjon i et område inntil 1 500 meter fra JEEP II-reaktoren. Restriksjonene vil kunne bli opprettholdt i én til to uker.

IFE har også analysert et mer alvorlig reaktorulykke-scenario ved JEEP II-reaktoren, der en både har totalt tap av kjølevann og utett reaktorinneslutning. Resultatet av analysen viser at konsekvensene av en slik ulykke er innenfor de anbefalinger som IAEA har utarbeidet i forbindelse med sikkerhet ved forskningsreaktorer. Deterministiske effekter som følge av en slik ulykke kan utelukkes. Ved en slik ulykke vil det forurensede området økes til ca. 15 000 meter og restriksjoner for konsum av grønnsaker i vekst i dette aktuelle området vil kunne oppheves gradvis, men etter ca. 60 dager er det ikke behov for tiltak utenfor IFEs anleggsområde.

3 Atomreaktorer og andre nøytronkilder – status og perspektiver

3.1 Kraftproduserende reaktorer

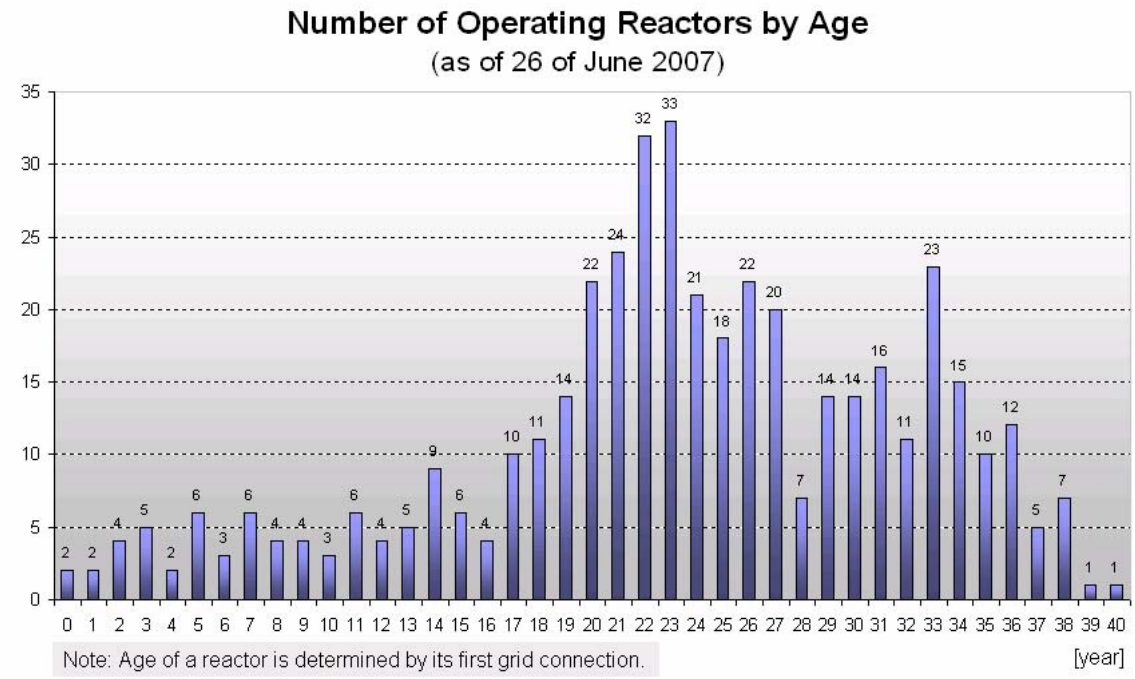
De første atomreaktorene ble bygget omkring 1955. I 2007 var det omkring 440 atomreaktorer fordelt på 30 land i drift for kraftproduksjon i verden. Omkring 150 av disse befinner seg i Europa (ca. 200 hvis vi regner med Ukraina og Den russiske føderasjonen). Disse atomkraftverkene leverte 16 % av verdens elektrisitetsproduksjon, men andelen varierer mellom landene. I Frankrike dekket for eksempel atomreaktorer 78 % av elektrisitetsforbruket. For Sverige og Finland – de eneste nordiske landene som har atomkraftverk – er tilsvarende tall henholdsvis 48 % og 24 %.[7]

Det er ikke mange av den første generasjonen reaktorer som er operative i dag. Disse reaktorene var basert på naturlig uran som brensel og grafitt som moderator. Reaktorer av generasjon II – som ble utviklet og bygget i perioden 1970-2000 og nå utgjør 90 % av de reaktorene som er i drift – er derimot typisk basert på anriket uran og har som regel vann som moderator og kjølevæske.

Mange av reaktorene som nå er operative, er mellom 20 og 35 år gamle, se Figur 1. Det vil derfor i årene framover bli økt oppmerksomhet rundt sikkerhet og bærekraftighet ved drift av disse reaktorene, med nye krav til forskning og utvikling. Det vil også bli behov for dekommisjonering av et økende antall reaktorer, med krav om nødvendig planer og ressurser for dette, og kontroll og regler for sikkerhet ved dekommisjoneringsaktiviteter.

[7] Data fra PRIS: International Atomic Energy Agency (IAEA)´s Power Reactor Information System, og UIC - Uranium Information Centre.

Figur 1 Aldersfordeling av kraftproduserende reaktorer på verdensbasis



Kilde: PRIS: International Atomic Energy Agency (IAEA)´s Power Reactor Information System og UIC.

Det er bygget svært få reaktorer etter 1986, og det er politisk uavklart i mange europeiske land om det fortsatt skal satses på atomkraft. Hvis energiproduksjonen fra atomreaktorer skal opprettholdes eller økes, vil det imidlertid være behov for nye reaktorer, eller oppgradering av eksisterende anlegg. Oppgradering kan være en kostnadseffektiv måte å øke produksjonen på, og flere land har økt sin energiproduksjon på denne måten (Sveits, Finland, Sverige, USA). Det er imidlertid nye reaktorer under bygging eller planlegging.

Det er for tiden en endring i synet på atomkraft i land der det har vært politisk uenighet om slik kraftproduksjon, og en rekke land med etablert atomkraftprogram er i ferd med å utarbeide planer for nye reaktorer. I 2007 var det 32 nye reaktorer under bygging, av disse er 4 i Europa: Finland, Frankrike og Bulgaria. Finland satser på å bygge verdens kraftigste (1 600 MW) og sikreste reaktor, som skal komme i drift i 2011. Det er også et større antall mer eller mindre utviklete planer for nye reaktorer. [8] Ifølge UIC (Uranium Information Centre) er det et sekstitall nye reaktorer som vil komme i drift i perioden 2007-2013.[9] Det store flertallet av disse er i Japan, India og Kina, og de fleste kommer i slutten den perioden. Alt tyder på at det blir en fortsatt økende aktivitet med forskning rundt sikkerhet og utvikling av ny teknologi for energiproduksjon basert på kjernespaltning i årene framovert. En begrunnelse for å fortsette denne utviklingen er å ha beredskap i tilfelle det tar mye lenger tid enn hittil antatt å få fram kraftproduksjon basert på andre teknologier (for eksempel fusjon), og at vi av klimahensyn, eller andre grunner, ikke ønsker å benytte fossilt brensel.

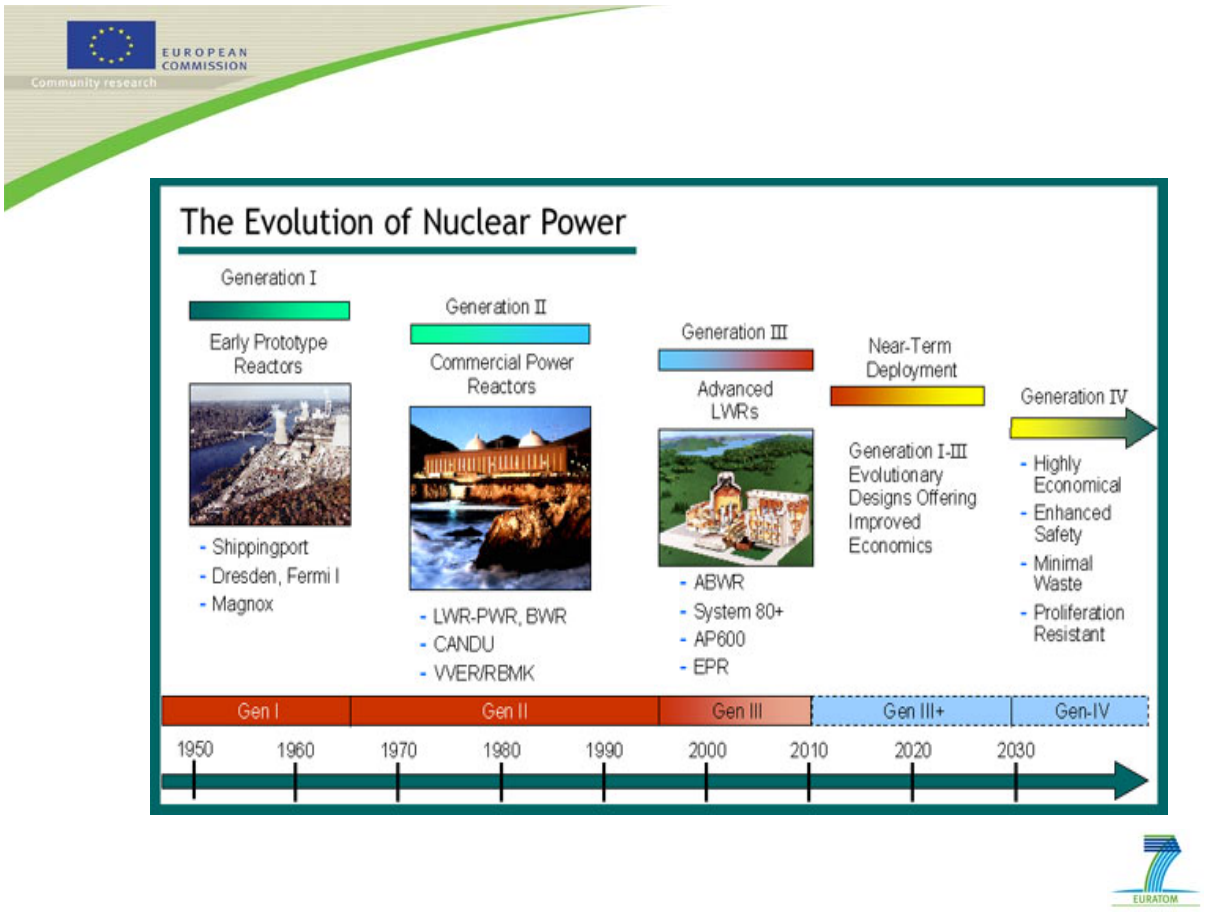
[8] Ifølge en artikkel i Teknisk Ukeblad (februar 2008) basert på data fra IAEA, EIA (Energy Information Administration, USA), m fl, er det pr i dag omkring 95 prosjekter på planleggingsstadiet og ytterligere mer enn 200 forslåtte kjernekraftverk på verdensbasis.

[9] Data fra PRIS

3.2 Nye generasjoner kraftproduserende reaktorer

En oversikt over utviklingen av reaktorer er vist i Figur 2, og en nærmere presentasjon av generasjon III, IV og thoriumreaktorer følger i avsnittene under.

Figur 2 Oversikt over reaktorutviklingen fra 1950 til i dag og prognose fremover



Kilde: Georges van Goethen, EU-Commission., under møte i Enlarged Halden Program Group, Storefjell, Gol, 11-16 mars 2007.

3.2.1 Generasjon III

Utviklingen av generasjon III er i alt vesentlig innrettet mot forbedring av sikkerhet og driftøkonomi. Forbedring av sikkerheten kan oppnås ved å innføre mer passive sikkerhetssystemer for å gjøre reaktorene mindre avhengig av operatørinngrep. Ulike måter å ta hånd om et eventuelt nedsmeltningsforløp bygges allerede fra begynnelsen inn i reaktorene. Et mål for disse reaktorene er de skal være så sikre at man kan ta hånd om en nedsmeltning uten at det blir noen konsekvenser for omgivelsene, og dermed ikke behøver tiltak for å beskytte omkringboende. Dessuten regner man med at det allerede fra begynnelsen skal anvendes moderne brensel som gir bedre sikkerhet og økonomi. Det økonomiske målet skal nås ved å øke driftstiden for reaktorene. Det oppnås ved å minske tiden for omlastning av brensel, fortsatt utvikling av mer økonomisk brensel og generelt øke levetiden for reaktorene. Flere anlegg som bygges i dag tilhører generasjon III, for eksempel ABWR og EPR (se Appendiks).

Med utgangspunkt i generasjon III er det planer om enda et skritt framover i reaktorteknologi, som man kaller generasjon III+. Denne typen reaktor skal kunne bygges i en relativt sett nær framtid, antageligvis fram til 2030, og er en videre utvikling av de konseptene som bygges i dag, med mål om en ytterligere forbedret sikkerhet og økonomi. Til denne kategori regnes også et konsept med brenselet i form av tennisball-liknende kuler som kjøles ned med helium med en temperatur ut fra reaktoren på 900 °C (PBMR: Pebble Bed Modular Reactor). Fordelen med en høyere temperatur, er at man får en forbedret virkningsgrad ved elektrisitetsproduksjonen sammenliknet med dagens reaktorer.

3.2.2 Generasjon IV

På lengre sikt – etter 2030 – er det planer om å kunne sette i drift en helt ny generasjon reaktorer. Innen disse planene kan realiseres, er det imidlertid behov for en betydelig utviklingsinnsats. Det rettes spesiell oppmerksomhet mot fire områder for produksjon av varme og elektrisitet, avsaltning av vann og hydrogenproduksjon. Kravspesifiseringen for generasjon IV omfatter fire punkter som oppfattes som ulemper ved nåværende kjernekraftverk:

- *Holdbarhet.* De nye reaktorene skal forbedre de deler av energiproduksjonen som innebærer miljøproblemer. Tilgjengelig brensel skal vare mye lenger. Det betyr at en mye større del av brenselets energiinnhold skal utnyttes. Det kan tenkes at andre stoffer (som for eksempel Thorium) kan komme til å anvendes. Mengden avfall skal minimaliseres, og det skal bli unødvendig å lagre avfallet i lang tid. Det siste betyr at man må ta hånd om de lengstlevende isotopene og føre disse tilbake til produksjonsprosessene.
- *Økonomi.* Den nye kjernekraftteknologien skal ha kostnadsfordeler sammenliknet med annen energiproduksjon. De finansielle risikoene skal være mindre eller sammenliknbare med risikoene med annen energiproduksjon.
- *Sikkerhet og pålitelighet.* Generasjon IV reaktorene skal være ytterligere forbedret med hensyn til sikkerhet, stabil drift og havarihåndtering, og ikke behøve beredskapstiltak for omkringboende.
- *Ikke-spredning.* Generasjon IV skal ikke bidra til spredning av nukleært materiale for anvendelse i kjernevåpenproduksjon eller for terrorbruk. Dette innbærer forbedring av fysisk beskyttelse, men også at materialet har egenskaper som gjør det meget vanskelig å stjele.

Seks teknologier er pekt ut av *Generation IV International Forum* (GIF) som interessante å arbeide videre med.[10] Flere av disse konseptene innbærer mye høyere temperaturer, og det kan bli aktuelt å anvende mer avanserte gasskretser med bedre virkningsgrad for energikonvertering. Prosjektene er:

GFR:	Gasskjølt hurtig reaktor
LFR:	Blykjølt hurtigreaktor
MSR:	Smeltet salt reaktor

[10] På initiativ fra Department of Energy, USA, ble GIF ble opprettet i 2000 av 10 land som benytter kjernekraft og også anser denne teknologien som vesentlig i framtiden

SFR:	Natriumkjølt hurtig reaktor
SCWR:	Superkritisk vannkjølt reaktor
VHTR:	Reaktor med meget høy temperatur

Alle krav til en moderne reaktor blir ikke oppfylt av disse konseptene. Man kan derfor tenke seg en kombinasjon av disse alternativene i en endelig løsning for fremtidens reaktorer, som vil oppfylle alle krav.

Felles for alle konseptene er at prototyper for de enkelte teknologiene allerede er bygget. Når det gjelder GFR, baseres teknologien på noen reaktorer med et termisk spektrum, men også noen med hurtige nøytroner. Prøveanlegg finnes i de fleste toneangivende land. LFR teknologien finnes i noen russiske atomubåter, MSR teknologien ble utviklet allerede på 1940-tallet for drift av fly, og et testanlegg for MSR ble bygget i Oak Ridge National Laboratories. SFR reaktorer er bygget og drives i en rekke land. SCWR drives med superkritiske trykk og den tekniske basen er lettvannsreaktorer. VHTR er egentlig en utvikling av eksisterende gasskjølte reaktorer, og er tenkt som grafittmoderert og heliumkjølt reaktor med et termisk nøytronspektrum. Prototyper fins i Japan og Kina. I VHTR er målet å produsere hydrogen direkte.

Selv om det allerede arbeides med en hel del tekniske spørsmål gjennom de prototyper som er bygget, er det spørsmål som fortsatt krever forskning og utvikling. Blant disse er å finne fram til materialer som er motstandsdyktige mot bestråling, og som kan anvendes ved høye temperaturer. Et annet spørsmål er å utvikle brensel med de riktige reaktorfysiske egenskaper. Sikkerhet er også et sentralt spørsmål i de nye konseptene, blant annet tiltak for å sikre at kjernemateriale ikke kommer på avveie eller brukes til produksjon av kjernevåpen eller av terrorister.

Det har vist seg at satsingen på de nye teknologiene har hatt positive effekter når det gjelder vedlikehold og utvikling av kompetanse innenfor kjernekraftteknologi generelt. Satsingen på nye innovative systemer har gjort det mer attraktivt for unge forskere å engasjere seg i kjerneteknologi. Eksempel på dette er satsingen innen EU på HPLWR (High Performance Light Water Reactors), som er en videreutvikling av SCWR. 15-20 doktorander er engasjert i HPLWR (EU er partner i GIF). I vårt naboland Sverige er det også eksempler på forskning innrettet mot nye generasjoner reaktorer. Ved KTH i Stockholm finnes det for eksempel en prøvekrets for superkritiske trykk og en for bly/vismut som anvendes i forskning og undervisning. Det drives også forskning som er innrettet på håndtering av langlevende fisjonsprodukter for å redusere lagringstiden.

Vedlikehold og utvikling av kompetanse har betydning også for land som ikke har planer for å satse på atomkraft. I denne sammenheng er reaktoren i Halden en viktig ressurs og kan fortsatt bli det i tiden framover (kap. 6.2).

3.2.3 Thorium reaktorer

Reaktorer som bruker thorium som brensel er også en mulighet for kraftproduksjon. Thorium er et svakt radioaktivt grunnstoff som finnes i relativt store mengder (større enn uran) på jorden. Thorium har ikke isotoper som vil fisjonere, men den mest vanlige isotopen (Th^{232}) kan absorbere lavenergetiske nøytroner og produsere U^{233} som i likhet med U^{235} kan undergå fisjon. Det går derfor an å konstruere reaktorer som bruker en blanding av U^{235} og Th^{232} som brensel. Det har foregått forskning på dette området gjennom 1960 og 1970 årene, og en lang rekke reaktortyper er prøvd ut i forsøksreaktorer og kraftproduserende reaktorer. Det har vist

seg at thorium kan brukes som brensel i de fleste vanlige reaktortyper. Etter omkring 1980, er det imidlertid bare India som fortsatt har hatt kraftproduserende reaktorer med thorium i drift.

En fordel ved thorium som brensel er at det ikke produseres plutonium eller andre langlevde radioaktive elementer, noe som reduserer problemene med avfall og muligheter for spredning av plutonium. En annen interessant side av thorium er at det er mulig å redusere de lagre som nå finnes av plutonium, ved å brenne plutonium blandet med uran og thorium i egnete reaktorer.

Sammen med en økende generell interesse for produksjon av elektrisk energi med atomreaktorer, er det også for tiden ny oppmerksomhet rundt thoriumreaktorer. I følge Thoriumutvalgets rapport[11] er det for tiden spesielt tre områder der det vurderes å nytte thorium som reaktorbrensel:

- Avanserte tungtvannsreaktorer (AHWR) der uran (U^{233}), plutonium og thorium brukes som brensel. I disse reaktorene vil 75 % av energien komme fra thorium
- Selv om thorium ikke er et høy prioritert tema for generasjon IV reaktorer, blir thorium vurdert som brensel i en av reaktortypene (MSR) som utforskes i GIF programmet (avsnitt 3.2.2)
- ADS (akseleratordrevne systemer) utvikles i et EURATOM program. Dette er særlig aktuelt for bearbeiding av høyaktivt brukt brensel

Det er også i den siste tiden blitt en økende interesse for thoriumreaktorer i Norge, og det er nå lansert forslag om bygging av reaktorer basert på thoriumbrensel. Én medvirkende årsak er at Norge har betydelige thoriumforekomster, som kan utnyttes på denne måten. Det er også fra norske forskere lansert forslag om en norsk satsing på forskning og utvikling av en ADS type reaktor.

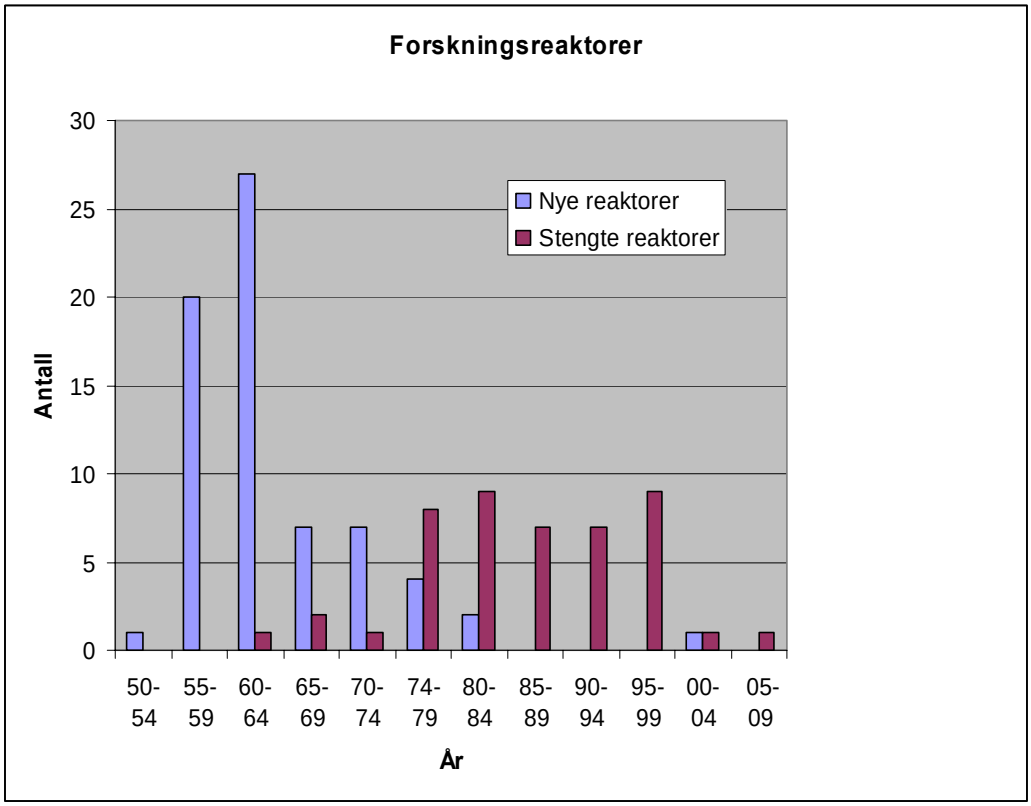
Thoriumutvalget har hatt som mandat å vurdere muligheter og forutsetninger for å etablere en permanent energiproduksjon i Norge. Utvalget konkluderer at de ikke finner thoriumbasert energiproduksjon tilstrekkelig utviklet og de geologiske forhold rundt norsk utvinning av thorium tilstrekkelig avklart, for en endelig vurdering av potensialet for permanent energiproduksjon i Norge.

3.3 Forskningsreaktorer

Nøytronstråler er grunnlag for viktige forskningsmetoder innenfor en rekke fagområder, og det finnes i dag omkring 280 reaktorer som ikke er primært bygget for kraftproduksjon, men som nøytronkilder for forskningsformål. Disse er fordelt på 56 land. De aller fleste forskningsreaktorer er svært små. Over halvparten av dem har en termisk effekt lavere enn 1 MW, bare omtrent 10 % har en termisk effekt høyere enn 20 MW. Det er 60 slike forskningsreaktorer i drift i Europa. Figur 3 viser antall forskningsreaktorer (> 1 MW) som er opprettet/nedlagt i Europa i perioden fra 1950 fram til i dag. Flere av reaktorene er bygget for forskning på reaktorteknologi og på drift og sikkerhet for reaktorer. Et titalls av de største reaktorene er imidlertid nøytronkilder for forskning som ikke er reaktorrelatert.

[11] Thorium as an Energy Source – Opportunities for Norway, January 2008

Figur 3 Oppstart og stengning av forskingsreaktorer (1 MW eller mer) i Europa, 1950-2007



Kilde: PRIS

IFEs to atomreaktorer er eksempler på forskningsreaktorer: HBWR i Halden er bygget for forskning på sikkerhet og drift av atomreaktorer, og er knyttet til IFEs "Haldenprosjekt". JEEP II på Kjeller er nøytronkilde for isotopproduksjon og fremstilling av radiofarmaka og brukes til forskning på materialer ved nøytronspredning.

Mange av forskningsreaktorene som nå er operative, ble opprettet i perioden 1955-70, og gjennomsnittsalderen er nær 40 år. Flere av dem nærmer seg derfor slutten på sin normale levetid. I tillegg vil det bli et økende krav til større energiintensitet og andre strålekvaliteter for at nøytronstråler skal egne seg til forskningsformål, slik at de eksisterende reaktorene ikke møter de krav som moderne forskning stiller. Relativt mange reaktorer er nedlagt i de siste årene, blant annet to reaktorer i Danmark og Sverige: DR 3 i Risø og R2 i Studsvik. Denne utviklingen har gjort at det nå er mangel på nøytronkilder til forskningsformål (se avsnitt 3.6).

Europas viktigste forskningsreaktor/nøytronkilde er knyttet til Institut Laue-Langevin (ILL) i Grenoble. Reaktoren er en HFR (high flux reactor) på 58 MW og kan levere nøytroner med energier over et stort område til omkring 40 avanserte instrumentoppstillinger. Instrumenteringen har blitt kontinuerlig oppdatert gjennom reaktorens levetid, og selve reaktoren ble oppgradert i 1990 årene. Den forventes å kunne operere til minst 2024. ILL er et internasjonalt forskningsinstitutt som opprinnelig, i 1967, ble etablert i et samarbeid mellom Tyskland og Frankrike. I tillegg ble UK med som partner i 1973. Videre har ni andre europeiske land (inkludert Sverige) og Russland gjort avtaler om bruk av strålelinjer ved ILL. I 2001 lanserte ILL et *Millennium program*, for ytterligere opprustning av reaktoren og instrumenteringen. Programmet har to faser, den første fra 2007 til 2011 og den andre fra 2012 til 2016. De samlede kostnadene er beregnet til 160 millioner euro. ILL ser Millennium programmet som et viktig ledd i instituttets allerede omfattende internasjonale samarbeid, og

regner med at det nye laboratoriet vil bli interessant for brukere fra mange land og fagområder. I dag gjør 1 100 forskere fra 430 institutter i 32 land eksperimenter ved ILL.

3.4 Spallasjonskilder

Ved alle reaktorkilder for nøytroner med kontinuerlig drift, er nøytronproduksjonen knyttet til fisjon av isotoper av uran. Nøytronfluksen fra de mest utviklete forskningsreaktorene nådde sitt maksimum på slutten av 1970 tallet. For å få høyere fluks, ble det sett nærmere på muligheten med såkalte pulsete spallasjonskilder, der man bruker akseleratorer til frigjøring av nøytroner. Ved å skyte pulser med akselererte protoner mot tunge kjerner – for eksempel bly eller kvikksølv – kan man "splintre" kjernen i mindre enheter som alle har for mange nøytroner til å være stabile, og derfor sender ut et større antall nøytroner med høy energi. Med protonenergier på 1 GeV (giga elektron volt) kan man få til kollisjoner der overskuddet av nøytroner kommer ut i rask rekkefølge med i gjennomsnitt opp mot 40 nøytroner pr. spallasjon. På denne måten blir intense nøytronpulser fremstilt i en prosess som produserer betydelig mindre varme enn i en fisjonsreaktor, og dermed med mindre krav til kjøling. Prosessen er også kontrollerbar ved at alt kan stoppes umiddelbart når protonakseleratoren slås av. Slike spallasjonskilder er i økende grad blitt aktuelle som nøytronkilder for forskning. Prosessen krever imidlertid en akselerator (synkrotron) av en viss størrelse, og det krever et større anlegg i tillegg til selve reaktoren. Spallasjonskilder blir derfor relativt store og kostbare anlegg.

ISIS ved Rutherford Appleton Laboratories nær Oxford, UK, er en av verdens ledende spallasjonskilder for nøytroner (og muoner). Her er det en 800 MeV (mega elektron volt) synkrotron som sender protonstråler mot tantalkjerner i et anlegg som leverer nøytroner til en rekke forskjellige strålelinjer med en lang rekke instrumenteringer for forskningsprosjekter innen kjemi, fysikk, materialvitenskap og annet. Et prosjekt er startet ved ISIS for en *"Second Target Station*" som vil utvide mulighetene ved laboratoriet. Prosjektet har en prislapp på £150 millioner, og konstruksjonen begynte i 2003. Den første nøytronproduksjonen skal etter planen ha startet opp høsten 2007, og den eksperimentelle virksomheten skal starte høsten 2008. Når prosjektet som helhet er fullført, vil det være ferdigstilt sju nye instrumentlinjer med "state-of-the-art" instrumentering. ISIS 2 er støttet av EU, og del i den planlagte *European Road Map for Research Infrastructure* (se avsnitt 3.5) ISIS 2 tar særlig sikte på å utvide muligheten for forskning innenfor aktuelle kjerneområder som "soft matter", avanserte materialer og biovitenskap.

SINQ er en annen europeisk spallasjonskilde for nøytroner, og den finnes ved Paul Scherrer Institut (PSI) i Villingen, Sveits. Virksomheten er her basert på en protonakselerator som produserer protoner til mange formål. En del av strålen sendes til et behandlingssentrum for protonterapi, en del brukes til produksjon av pioner til forskning, og en del sendes til SINQ anlegget der det er en spallasjonskilde (Pb) som produseres nøytroner til en rekke seksjoner med eksperimenter. SINQ er – i likhet med ISIS og ILL – tilgjengelig for brukere fra andre land.

3.5 ESS - planer for en europeisk spallasjonskilde

Det er liten tvil om at eksperimentelle metoder basert på nøytroner spiller en stor rolle i moderne naturvitenskap. Mange vil hevde at nøytronteknikker i de siste 50 år har spilt en vesentlig rolle innenfor et vidt spekter av disipliner som fysikk, kjemi, materialvitenskap, bio- og geovitenskaper, samt teknologi og – ikke minst i de seneste år – innenfor alle aspekter av nanoteknologi. Europeisk forskning har vært langt fremme på dette området, og mange

forskningsmiljøer har uttrykt et klart behov for å bygge en europeisk spallasjonskilde med moderne vitenskapelig utstyr som kan møte krav fra brukere på alle fagområder.

Planer for en European Spallation Source (ESS) ble lansert allerede i 1991-92, og har senere vært gjennom flere modifikasjoner. Tilsvarende planer var også aktuelle i USA og Japan, og OECDs *Global Science Forum anbefalte* i 1999 at Europa, USA og Japan burde vurdere å bygge en slik "tredjegenerasjons" nøytronkilde. Det europeiske initiativet ble ført videre av en rekke europeiske laboratorier i et samarbeid som konkluderte med en plan omkring 2003. Planen kan i korthet oppsummeres slik: Protoner med energi 1,3 GeV fra en egnet akselerator skal fra to target stasjoner produsere henholdsvis korte og lange 5 MW pulser med nøytroner. Nøytronene vil ved full utbygging bli benyttet i omkring 40 instrumentoppstillinger med relevant og moderne utstyr for aktuelle problemer innenfor en rekke fagområder. Total pris ble estimert til 1 500 millioner euro, og driftsbudsjettet til 140 millioner euro. Alternativt kan ESS starte med én targetstasjon, og det er da anslått at kostnadene vil bli omkring 1 200 millioner euro med et driftsbudsjett rundt 100 millioner euro. Det er ikke tatt endelige beslutninger om ESS (se nedenfor), men hvis beslutninger tas i 2008, er det antatt at de første nøytronene kan produseres i 2016-2017, med muligheter for de første vitenskapelige eksperimentene i 2018-2019.[12]

3.6 Nøytronkilder – veien videre i Europa

Som tidligere nevnt har antall tilgjengelige nøytronkilder blitt redusert de siste årene, og etter det vi vet om de eksisterende kilders alder og kvalitet, er det rimelig å anslå at antallet kilder vil bli halvert innen 2020. Med bakgrunn i denne situasjonen satte ESFRI[13] ned en arbeidsgruppe for å se på behov og mulige scenarier for å tilfredsstille behovet for nøytronkilder av tilstrekkelig kvalitet i Europa. Med utgangspunkt i eksisterende og foreslåtte "top-rank facilities" (inkludert ESS) konkluderte gruppen med å anbefale tre planer der følgende hovedscenario gis første prioritet:[14]

> *"Scenario 1 aims at a neutron landscape with ESS fully implemented as the world new leading facility, supplemented by a baseline including fully developed ILL and ISIS and a selected network of regional and national sources. This scenario would provide world leading capacity in all areas of neutron science and could serve a growing community of researchers."*

Denne planen forutsetter at planene som allerede er lagt for ILLs Millenium Program og ISIS 2 blir fulgt opp, og at det regionale og nasjonale nettverk av nasjonale kilder – "hjemmelaboratoriene" – vedlikeholdes. Gruppens andre og tredje prioritet er gitt til scenarier der ESS bygges gradvis ut over lengre tidsperioder.

ESFRI har senere anbefalt at ESS tas med i EUs planer for vitenskapelig infrastruktur ("in the highest category of maturity on the European Road Map"). [15] Anbefalingen går ut på å starte med én target stasjon, slik at ESS blir en 5 MW "Long Pulse Spallation Source". ESS skal da

---

[12] Peter Tidemans, leder av ESS-Initiativ, foredrag Brussel 2. februar 2006

[13] European Strategy Forum on Research Infrastructure

[14] *Medium to long-term future scenarious for neutron-based science in Europe,* rapport fra *Working Group on Neutron Facilities,* ESFRI (januar 2003)

[15] Pressemelding fra *The European Spallation Source Initiativ* (ESS-I), 19. oktober 2006

bli det første laboratoriet i verden med slike pulser, som ifølge eksperter åpner for nye eksperimentelle muligheter på omtrent alle interessante områder av naturvitenskap og teknologi.

ESS må realiseres i et bredt europeisk samarbeid, og utspillet ligger hos regjeringene. Det er mange som ønsker anlegget i sitt eget land, både England, Tyskland, Spania, Ungarn, og ikke minst Sverige har lansert planer, og argumenterer for at de har det beste vitenskapelige, geografiske, og sosioøkonomiske potensialet. Det svenske initiativet om å legge ESS til Lund, har fått støtte i en spesiell rapport til den svenske regjeringen[16], og organisasjonen ESS-Scandinavia arbeider for tiden sterkt for å få ESS til Lund. Den svenske regjeringen har senere (2007) besluttet å starte forhandlinger med andre land om deltakelse i ESS. Det forventes at lokaliseringsspørsmålet kan bli avgjort i 2008 og anleggsvirksomhet startet i 2010. Spørsmål om norsk deltakelse i ESS har vært reist bl.a. i et innspill til Norges Forskningsråds utredning om "Storutstyr", men er ikke realitetsbehandlet verken av Forskningsrådet eller på politisk nivå i Norge.[17] Forskningsrådet har imidlertid tatt opp spørsmålet om norsk deltakelse i ESS under det pågående arbeidet med en Nasjonal strategi for forskningsinfrastruktur (2008) og norsk deltakelse i prosjekter i ESFRIs plan for europeisk forskningsinfrastruktur. På bakgrunn av de tidsrammer som er nevnt ovenfor for etablering av ESS, er det imidlertid klart at ESS, med eventuell norsk deltakelse, ikke blir realisert før etter 2020.

3.7 Nøytronkilder for norske forskere

JEEP II er en viktig nøytronkilde for norske forskere. Nå som forskningsreaktorene i Risø i Danmark og Studsvik i Sverige er nedlagt, er JEEP II den eneste nøytronkilden i Norden for den type forskning som foregår på Kjeller innenfor områder som nano- og materialvitenskap, jf. avsnitt 2.3.

Norske forskere deltar også i prosjekter der andre nøytronkilder benyttes, for eksempel ILL, ISIS og andre som er omtalt i avsnittene 3.3 og 3.4. Dette er da knyttet til enkeltprosjekter i et samarbeid med institusjoner som har tilgang til stråletid fra en egnet nøytronkilde, for eksempel som del av et EU-prosjekt. Norge har imidlertid ingen fast avtale med andre eksperimentelle anlegg, der norske forskere får tildel en avtalt mengde stråletid over et visst antall år. Slike avtaler kan gi norske forskere lettere tilgang til egnete nøytronkilder enn gjennom enkeltprosjekter.

JEEP II er også viktig for forskerne som benytter utenlandske nøytronkilder. Driften av reaktoren gjennom mer enn 50 år har gitt miljøet ved JEEP II en internasjonalt anerkjent kompetanse, som gjør at IFE kan fungere som et "hjemmelaboratorium" der eksperimenter ved utenlandske nøytronkilder kan forberedes, hvis det er bruk for nøytronstråler med andre egenskaper enn JEEP II kan gi (for eksempel større intensitet i nøytronstrålen). Dette gjør det lettere å oppnå gode resultater og – ikke minst – få tilgang og stråletid ved andre, og i enkelte sammenhenger mer attraktive, nøytronkilder. ESFRIs arbeidsgruppe (avsnitt 3.6) peker også på betydningen av et nettverk med nasjonale og regionale nøytronkilder. Nettverket vil også

[16] Rapport til Utbildningsministeren fra Allan Larsson (juni 2005)

[17] *Storutstyr:* Kartlegging av svært kostnadskrevende eksperimentell infrastruktur til grunnforskning innen naturvitenskap og teknologi, Det nasjonale fakultetsmøte for realfag (etter oppdrag fra Norges forskningsråd, januar 2005)

være et viktig supplement til og forutsetning for effektiv utnyttelse av en større internasjonal fasilitet, som for eksempel et framtidig ESS.

Om JEEP II skulle bli nedlagt og det er ønske om å fortsette den material- og annen forskning som nå utføres ved JEEP II, vil det bli helt nødvendig å finne fram til avtaler som sikrer norske forskere avtale om stråletid ved utenlandske strålekilder. Et eksempel på en slik ordning er avtalen Vetenskapsrådet i Sverige har gjort med ILL. Som en konsekvens av nedleggingen av forskningsreaktorene ved Studsvik har Vetenskapsrådet gjort en avtale som over 5 år (2007-2011) sikrer svenske forskere adgang til ILLs strålelinjer på like fot med de som allerede er medlem av konsortiet ILL. Avtalen har en kostnad på omkring 15 millioner kroner pr. år. Dette er prisen for avtalen, i tillegg vil det bli reise- og oppholdsutgifter. Vetenskapsrådet har også hatt en tilsvarende avtale med ISIS.[18]

På lang sikt kan et medlemskap i (eventuelt en avtale med) ESS eller andre nye nøytronkilder bli et alternativ for norske forskere. På kort og mellomlangt sikt vil det uten JEEP II bli nødvendig med avtaleordninger med eksisterende utenlandske nøytronkilder. I den nåværende situasjon, der konkurransen om stråletid nå er stor på grunn av et økende behov for nøytronkilder innen moderne materialforskning, og med mangel på egnete nøytronkilder, kan dette bli vanskelig. Det kan også bli relativt kostbart.[19]

[18] Det er eksempler på tilsvarende avtaler også i Norge: Norske forskere har adgang til å benytte det europeiske anlegget for synkrotronstråler ESRF i Grenoble gjennom et nordisk konsortium NORDSYNC og et samarbeid med sveitsiske forskere om en spesiell strålelinje. Kostnadene for avtalene er i 2008 ca 10 mill. kroner

[19] I en henvendelse mai 2005 til Vetenskapsrådet i Sverige fra en arbeidsgruppe som så på kostnadene ved å flytte den eksperimentelle virksomheten ved Studsviks forskningsreaktorer utenlands (f eks til ILL), var konklusjonen at dette ville komme på ca 20 millioner SEK pr år. Arbeidsgruppen bemerket da at ”Man kan altså konstatera att verksamheten vid Studsvik varit tämligen billig”

4 Kostnader forbundet med ulykkesrisiko, drift og lagring av avfall

4.1 Generelt om sikkerhetsforskrifter og sikkerhetsarbeid

Internasjonale organisasjoner utvikler normer og anbefalinger for atomsikkerhetsarbeid som reflekteres i nasjonale lover og regler. IFE driver reaktorene etter de regler som myndighetene i Norge setter, i hovedsak er det Atomenergiloven (1972) og Strålevernloven (2000) med forskrifter. Norge har undertegnet og ratifisert Kjernesikkerhetskonvensjonen (20. september, 1994). I tillegg har Norge også undertegnet Avfallskonvensjonen (12. januar, 1998) som angir grunnleggende sikkerhetskrav som skal oppfylles av kjernetekniske anlegg. Dessuten er Norge medlem i Ikke-spredningsavtalen (undertegnet i 1970), som gir forpliktelser for medlemslandene. I Norge er det Statens strålevern som har ansvaret for at de omtalte lovene med forskrifter og andre bestemmelser, blant annet de som følger av Kjernesikkerhetskonvensjonen, Avfallskonvensjonen og Ikke-spredningsavtalen, overholdes. Det er IFE som har ansvaret for sikkerheten ved drift av reaktorene på Kjeller og i Halden, og sikkerhetsforhold ved transport og lagring av radioaktivt avfall. Statens stråleverns ansvar er å tilse at IFE følger dette opp. Detaljer om hvordan det tekniske og administrative sikkerhetsarbeidet ved anleggene drives, er et spørsmål som reguleres mellom IFE og Statens strålevern, og berøres ikke ytterligere i denne rapporten.

IFE har gjennom sin lange erfaring fra drift av atomreaktorer og omfattende deltakelse i internasjonale organisasjoner, opparbeidet en høy kompetanse på nukleær sikkerhet og teknologi. Instituttet har deltatt aktivt i det internasjonale atomenergibyrået (IAEA), det nukleære atombyrået under OECD (OECD/NEA) og det europeiske atomenergi-samfunnet (EANES) med representanter i sentrale komiteer med sikkerhetsspørsmål som arbeidsområde, for eksempel *Advisory group on safeguard implementation* (IAEA), *Waste management committee* og *Committee on the safety of nuclear installations* (NEA). IFE har også hatt representanter i grupper som har vurdert sikkerheten i enkelte utenlandske anlegg.

I sammenheng med behandlingen av søknaden om fornyet konsesjon har Statens strålevern anmodet IAEA om å granske det norske sikkerhetsarbeidet og reaktoranlegget i Halden En hovedkonklusjon fra IAEAs gjennomgang var at det ikke ble oppdaget noen vesentlige forhold ved reaktoren som kunne være til hinder for videre sikker drift: ”*In conclusion, from a safety point of view, the team considers at present, that there is no major problem which may constituate a hold point against the continuation og the HBWR operation.*” Granskingen omfattet en gjennomgang av norsk lovgivning og myndighetsstruktur, IFEs sikkerhetsarbeid generelt og sikkerhetsdokumentasjon for Haldenreaktoren. IAEAs vurdering var at IFEs kompetanse på nukleær sikkerhet er god, sammenholdt med internasjonal praksis og IAEAs egne anbefalinger. Videre konkluderes det med at IFE har en god sikkerhetskultur, med motivasjon for å forbedre sikkerheten, samt et godt kvalitetssikringssystem.[20] IAEA-rapporten utgjør ett element i den helhetlige vurderingen av sikkerheten ved anlegget som Strålevernet gjennomfører som underlag for sin innstilling overfor Regjeringen i konsesjonssaken.

[20] Rapport av gruppe fra IAEA ved besøk i Halden 18.- 29. juni 2007, en gruppe nedsatt av IAEA etter invitasjon fra Statens strålevern som ledd i Strålevernets behandling av IFEs konsesjonssøknad

4.2 Kostnader ved ulykker

I Kjernesikkerhetskonvensjonen angis de grunnleggende sikkerhetskrav som skal oppfylles av kjernetekniske anlegg. I Norges fjerde konvensjonsrapport, som ble innlevert i 2007, beskriver man hvordan sikkerheten opprettholdes som følge av konsesjonskrav og internasjonale standarder. Som vilkår i konsesjonen er IFE pålagt å gjøre sikkerhetsgjennomganger med visse mellomrom og underlaget for en vurdering av sikkerheten dokumenteres i en sikkerhetsrapport, som til enhver tid holdes oppdatert. Den administrative ledelsesfunksjonen skal ha sikkerhet som første prioritet og det skal finnes tilstrekklig personell og kompetanse for å opprettholde sikkerheten og for kontinuerlig trening og utdanning. Det skal finnes systemer for kvalitetssikring av arbeidet med sikkerhet, helse og miljø som overvåkes av Strålevernet.

Sikkerhetsrapporten omfatter et stort spekter av ulykkesforløp som anleggene er konstruerte for å håndtere, uten at det blir noen påvirkning på omgivelsene. Det analyseres også alvorlige ulykker som ligger utenfor konstruksjonsforutsetningene. En alvorlig ulykke der det er totalt tap av kjølevann og utett reaktorinnslutning, er analysert for begge reaktorene, og analysen viser at konsekvensene av en slik ulykke er innenfor de anbefalinger som IAEA setter for forskningsreaktorer. Uhell i brenselslagerne vil ha mindre konsekvenser enn uhell ved JEEP II eller Halden reaktoren.

Områdene rundt reaktorene er grundig overvåket etter moderne sikkerhetsrutiner og metoder, og alle former for uhell og større ulykker er simulert og sikkerhetsanalysert (jf. avsnitt 2.6). Ved konsekvensanalyse av alvorlige hypotetiske ulykker ved de to forskningsreaktorene er det benyttet anbefalinger som myndighetene i USA setter til kjernekraftverk.[21] Reaktorene har, som de fleste forskningsreaktorer, relativt liten mulighet for utslipp til omgivelsene sammenliknet med kjernekraftverk, og sannsynligheten for at en slik større ulykke skal skje er meget liten. Reaktorene inneholder ikke tilstrekkelig med radioaktivt materiale til at det er nødvendig med omfattende tiltak for å redusere helseeffekter under en alvorlig ulykke selv med en utett inneslutning. Likevel vil innendørsopphold for omkringboende og evakuering av de nærmest boende være aktuelt i et ”worst case” scenario.

Det finnes imidlertid et solid erfaringsgrunnlag for å konkludere at sannsynligheten for alvorlige ulykker med betydning for omgivelsene er liten for moderne atomreaktorer. Begge IFEs reaktorer er dessuten små sammenliknet med kraftproduserende reaktorer, og kostnader ved en ulykke tilsvarende mindre, slik de gjennomførte analysene viser. Det er også slik at ved et uhell ved reaktorene som påvirker tredjeperson, dekker statens selvassuranse IFEs objektive erstatningsansvar overfor tredjeperson. Erstatningsansvaret beløper seg ifølge atomenergiloven til 700 millioner euro.

4.3 Kostnader ved normaldrift av reaktorene

IFE hadde direkte kostnader knyttet til Haldenreaktoren på ca. 67 millioner kroner i 2006, der 55 millioner kroner var lønnskostnader og 12 millioner kroner gikk til drift og vedlikehold. Av drift- og vedlikeholdskostnadene ble rundt 8 millioner kroner brukt til tiltak som har med reaktorsikkerhet å gjøre, mens 4 millioner kroner gikk til forbruk (elektrisitet, vann, brensel, tungtvann), bedre effektivitet, opplæring, etc. Tiltak for å redusere risikoen for ulykker er en del av det fortløpende vedlikeholdet av reaktoren og inkludert i driftsbudsjettet. Preventivt

[21] US NRC Regulatory Guides 1.183

vedlikehold og sikkerhetsrelaterte tiltak forventes også i framtiden å bli gjennomført som del av det normale driftsbudsjettet. Dette prinsippet gjelder også for kostnadene knyttet til JEEP II-reaktoren, der drift av reaktoren utgjorde en kostnad på nær 25 millioner kroner i 2006. Om lag 18 millioner av dette gikk til lønn. I 2007 var kostnadene for vedlikehold omkring 7,5 millioner kroner. Det inkluderer også kostnader forbundet med fornying og oppgradering av systemer, noe det tas høyde for i budsjettet.

En kjent aldringsmekanisme for materialer, blant annet stål, er sprøhet på grunn av nøytronstråling. Ettersom Haldenreaktoren har vært i drift i nesten 50 år overvåkes tilstanden til reaktorens reaktortank regelmessig. IFE har også tatt foranstaltninger for å redusere bestrålningen av reaktortanken. Den akkumulerte strålingen på reaktortanken er mindre enn for eldre kjernekraftverk, men større enn for moderne verk. Under produksjon og idriftsettelse av reaktortanker stilles høye krav til kvalitet og det gjennomgås en rekke tester. Under drift gjennomføres et materialovervåkningsprogram ved at det regelmessig tas ut og undersøkes prøvebiter av samme material som reaktortanken er laget av. Disse bitene har fått en høyere nøytronstråling enn reaktortankens bestråling, tilsvarende 10 års ytterligere drift, slik at man kan trekke slutninger om forventet utvikling. Analyser av reaktortankmaterialet baseres på moderne krav og retningslinjer utviklet ved NRC (Governmental Nuclear Regulatory Commission), ASME (American Society of Mechanical Engineers) og SKI (Statens kärnkraftinspektion). For å identifisere eventuelle degraderinger i materialet inspiseres trykkbærende komponenter. Siden produksjonsstarten har det blitt rapportert indikasjoner, men disse har ikke utviklet seg videre og er ingen utfordring for sikkerheten. IFE har et inspeksjons- og vedlikeholdsprogram for begge reaktorene for å ivareta drifts- og sikkerhetsmessige forhold ved anleggene. Dette er i henhold til de krav myndighetene stiller til IFE. Programmet finansieres gjennom IFEs årlige driftsmidler. IFE har i noen år søkt Nærings- og handelsdepartementet om ekstra bevilgninger til spesielle tiltak, for eksempel nytt brensel til JEEP II. Ved spesielle behov vil også IFE vurdere å søke Nærings- og handelsdepartementet også i kommende år, for eksempel knyttet til eventuelle krav i konsesjonen. I henhold til IFE er det ingen indikasjoner på at det vil bli behov for større investeringer knyttet til JEEP II-reaktoren innenfor neste konsesjonsperiode for å ivareta sikkerheten ved anlegget.

4.4 Avfallsbehandling og lagring

IFE har ansvar for mottak av *lavt- og middelsaktivt avfall* fra industri og annen virksomhet. Det faste radioaktive avfallet behandles slik at det reduseres mest mulig i volum og aktivitetsmengde, og alt flytende avfall overføres til fast form. Avfallet kapsles inn slik at det blir egnet for langtidslagring. Innkapslingen hindrer at de radioaktive stoffene kommer ut til omgivelsene. Behandlingen skjer i henhold til internasjonale normer, nasjonalt regelverk og norske myndigheters konsesjonskrav. Avfallet støpes inn i betong i tønner som transporteres til Norges nasjonale lager og deponi i Himdalen (KLDRA). Den årlige mengden svarer til ca. 120 ”tønneekvivalenter”, hvorav ca. 40 % er avfall som IFE mottar fra eksterne brukere. I 2004 var det 3 900 tønneekvivalenter i Himdalen.[22] Anlegget i Himdalen har konsesjon for drift til 1. mai 2008 og har en totalkapasitet på 7 500 tønneekvivalenter i deponidelen og 2 500 ekvivalenter i lagerdelen, altså 10 000 tønneekvivalenter til sammen. I den pågående konsesjonssaken har Strålevernet innstilt på konsesjon i 20 år til 2028 på visse vilkår.

[22] http://www.ife.no/ife_nyheter/2004/Himdalen-ferdig?set_language=no&cl=no

Anlegget i Himdalen kan motta det som kommer av lavt og mellomaktivt avfall fra IFEs virksomhet i de nærmeste 20 årene. Dette avfallet er i utgangspunktet uavhengig av reaktordriften, og eventuelle kostnadsendringer knyttet til avfallsbehandlingen er derfor uavhengig av om reaktorene legges ned eller ikke.

I tillegg produserer reaktorene i Halden og på Kjeller avfall i form av brukt brensel (bestrålt brensel). Det brukte brenselet lagres på Kjeller og i Halden. Lagrene i Halden er både våtlager (vannbasseng) og tørrlager. På Kjeller er våtlageret i selve reaktorbygningen, men her lagres det brukte brenselet bare i kort tid (inntil ett år) for kjøling, før det overføres til tørrlageret på Kjeller. Disse lagrene overvåkes kontinuerlig med ulik type instrumentering og det er en løpende tidskontroll av lagrene. Gjennom dette overvåkingsprogrammet har det ikke blitt avdekket sikkerhetsproblemer av betydning. Overvåkingen av lagrene har ikke indikert behov for større ekstra investeringer i vedlikeholdstiltak i de nærmeste årene.

Mengder av bestrålt brensel på lager i Halden er nå 10 385 kg, og på Kjeller 6 074 kg. Den årlige tilveksten er ca. 60 kg i Halden og ca. 15 kg på Kjeller. Lagrene er definert som atomanlegg i henhold til Atomenergiloven, og IFE må ha konsesjon for å drive dem. Det er derfor søkt om ny konsesjon også for disse lagrene i IFEs konsesjonssøknad for atomanleggene i Halden og på Kjeller. I søknaden har IFE godtgjort at det er tilstrekkelig lagringskapasitet både i Halden og på Kjeller for hele perioden det søkes konsesjon for (2009-2018). Videre lagring av brukt brensel i denne perioden medfører derfor ikke ekstra kostnader ut over de årlige driftskostnadene som har vært inkludert i årlig driftsbudsjett (løpende vedlikehold, lønnskostnader for brenselshåndtering og regnskapsføring av brensel).

IFE har ikke beregnet om det er lagerplass for høyaktivt brensel etter 2018. I henhold til NOU (2001) er dagens lagerkapasitet ved Halden og Kjeller tilstrekkelig frem til ca. 2016 og i følge NHD (2004) frem til 2014. En eventuell konsesjonsperiode etter 2018, kan derfor utløse behov for mer lagerplass til høyaktivt avfall. Det finnes imidlertid ulike konsept for komprimering av avfall, for eksempel brukt i Sverige, slik at eventuell tilførsel av høyaktivt avfall fra eventuell videre reaktordrift også etter 2018 kan lagres på Kjeller og i Halden uten store nye investeringer i lagerplass.

5 Reaktorenes betydning for IFEs aktiviteter fremover

I henhold til egenevalueringene er nær 60 % av IFEs totale virksomhet direkte knyttet til instituttets to atomreaktorer. I dette kapittelet drøftes konsekvenser for FoU-aktivitetene ved IFE av at reaktorene eventuelt legges ned. Først gjennomgås konsekvenser for miljøet i Halden ved nedleggelse av reaktoren der, deretter konsekvenser for miljøet ved Kjeller ved nedleggelse av reaktoren der. Til sist i kapittelet drøftes konsekvensene for miljøet i Halden ved at reaktoren på Kjeller legges ned og motsatt.

5.1 Haldenreaktoren

I følge IFEs egne vurderinger konkluderes det med at material- og brenselsforskningen i Halden ikke kan fortsette dersom reaktoren skulle bli nedlagt. Denne konklusjonen blir også understøttet av Prestrudutvalget (2005). For Haldenprosjektet vil dette bety en avvikling, og at eksperimentene på brensels- og materialområdet må gjennomføres i andre land. Dette vil resultere i at den delen av virksomheten som kan plasseres i Halden vil bli relativt marginal, begrenset til administrative funksjoner, instrumentleveranser og dataanalyse. Mesteparten av dagens personale på brensels- og materialområdet vil bli overflødige. Dette gjelder alt personell knyttet til driften av Haldenreaktoren og de fleste knyttet til design og produksjon av eksperimentalutstyr som rigger og loopsystemer. Material- og brenselsforskningen representerer en vesentlig del av den samlede aktiviteten ved IFE Halden. Innenfor Fellesprogrammet (Haldenprosjektet) utgjør denne forskningen 60-70 %, mens forskningen knyttet til MTO utgjør resten. Også andelen av bilaterale prosjekter som er relatert til material- og brenselsforskning er høy. For 2006 var om lag 2/3 av de bilaterale prosjektene knyttet opp mot forskning der atomreaktoren blir benyttet. Samlet sett vil om lag 2/3 av dagens aktivitet bli direkte berørt dersom atomreaktoren legges ned.

Det internasjonale forskningsprogrammet på MTO-området er i prinsippet uavhengig av driften av Haldenreaktoren, da det eksperimentelle programmet utføres i MTO-laboratoriene i Halden (HAMMLAB og VR-senteret). Det argumenteres imidlertid fra IFEs hold at det er summen av de to virksomhetene (brensel/material og MTO) som for de fleste land er avgjørende for deltagelse i Haldenprosjektet. Dette argumentet støttes også av NEA, jf. Vedlegg 1. Det internasjonale evalueringsutvalget av Haldenprosjektet (Hargutvalget, 2000) konkluderte med at MTO-virksomheten alene ikke ville samle nok internasjonal interesse og støtte til at Haldenprosjektet kan fortsette uten reaktoren. Også IFE mener at det vil bli vanskelig å videreføre Haldenprosjektet basert på MTO-aktivitetene alene. En eventuell videreføring av det internasjonale Haldenprosjektet på MTO-området, etter at Haldenreaktoren er nedlagt, er i følge IFE betinget av en klar forskningspolitisk beslutning og vilje til å få til dette. Videre må norske myndigheter være villige til å dekke en budsjettandel på linje med det som er vanlig for vertslandet i andre internasjonale OECD prosjekter, anslagsvis 50-70% av totalbudsjettet. De må også ha som utgangspunkt at et nytt fellesprogram, kun for MTO-delen, for å være av internasjonal interesse, må være vesentlig større enn dagens MTO-andel av Fellesprogrammet ved Haldenprosjektet. Det norske bidraget for et slikt MTO-fellesprogram vil derfor måtte være av størrelsesorden 35-40 millioner kroner.

En stenging av Haldenreaktoren vil stille IFE overfor store utfordringer når det gjelder videreføring av forskningsaktiviteter i Halden. Hvis man ikke klarer å opprettholde et fellesprogram på MTO-området etter at reaktoren er stengt, vil også aktivitetene på dette området kunnet bli svekket. For å opprettholde de forskningsmiljøene som er viktige for nasjonale interesser (MTO-forskning, instrumentuvikling) vil det etter IFEs mening være

nødvendig med offentlige omstillingsmidler av størrelsesorden 20-30 millioner kroner i en 5-10 års periode. Dette var også Prestrudutvalgets (2005) konklusjon.

5.2 Kjellerreaktoren

Den nukleære virksomheten utgjør ca. 52 % av FoU-virksomheten ved Kjeller. Grunnforskningen i fysikk basert på JEEP II reaktoren vil bli direkte rammet av en eventuell nedleggelse av reaktoren. Forskningen som drives innenfor faststoffysikk og materialvitenskap, herunder nøytronspredning og nøytrondiffraksjon – som benyttes for å kartlegge materialers egenskaper og struktur – vil derfor ikke kunne fortsette i nåværende form. Det samme gjelder forskning basert på eksperimenter av nanomaterialer, som JEEP II er utrustet for. Miljøet karakteriserer tilgangen på alternative eksperimentelle fasiliteter i Europa for nøytronspredning i nye materialer og nanoteknologi som svært mangelfull, jf. avsnitt 3.7, slik at all materialforskning som krever nøytronspredning slik det er beskrevet ovenfor, ikke kan fortsette.

Videre er JEEP II sentral for IFEs engasjement innen forskningen rettet mot effektiv og sikker lagring av hydrogen, hvor miljøet også står som koordinator for et stort EU-finansiert prosjekt på feltet. Ved nedleggelse av reaktoren vil det være unaturlig for miljøet å inneha en slik sentral rolle. Miljøets attraktivitet for deltagelse i prosjekter/aktiviteter innen Norges forskningsråds NANOMAT program vil også reduseres betydelig. En eventuell nedleggelse av reaktoren vil også få følger for forskningssamarbeid med UiO og NTNU/SINTEF på forskning innen funksjonelle og komplekse materialer og prosesser (FUNMAT og COMPLEX). Uten JEEP II reaktoren faller dagens internasjonale forskningssamarbeid på nano- og materialvitenskap bort. Forskningssamarbeidet omfattet i 2007 deltakelse i seks EU-prosjekt, samt andre internasjonale nettverk med forskningsmiljø fra til sammen rundt 20 land.

Uten JEEP II vil anvendt forskning innenfor produksjon av radioaktive isotoper, sporanalyser og nøytronbestråling av silisium ikke lenger kunne gjennomføres ved IFE Kjeller. Dette vil i første rekke ramme prosjekttilgang fra nukleærmedisin og prosess- og petroleumsindustrien. En betydelig del av instituttets økonomiske fundament kan dermed falle bort.

5.3 Komplementaritet

Dersom JEEP-II ble nedlagt, ville Haldenprosjektet ikke lenger kunne utføre nøytronradiografi av brensel og materialer som er testet i Haldenreaktoren. Dette er viktige målinger for å karakterisere materialet og inngår i etterundersøkelsesprogrammet (post-irradiation examination) av brensel og materialer testet i Haldenreaktoren. Utover dette vil nedleggelse av JEEP-II ikke ha noen direkte konsekvenser for Halden-miljøet. Indirekte vil imidlertid bortfall av forskningen på reaktorfysikk og reduksjon av aktiviteten ved Metallurgisk Laboratorium II på Kjeller svekke Halden-miljøet. Metallurgisk Laboratorium II på Kjeller utfører prøvebrenselsproduksjon, etterundersøkelser av brensel og materiale bestrålt i Haldenreaktoren og re-instrumentering av bestrålt brensel fra kjernekraftverk som skal testes i Haldenreaktoren. En svekking av det totale fagmiljøet ved IFE som følge av nedleggelse av JEEP II, vil være negativt for Halden.

Det vil ikke være noen direkte konsekvenser for Kjeller-miljøet dersom reaktoren i Halden ble nedlagt. Indirekte kan det nukleære miljøet på Kjeller bli svekket av at den operative kompetansen vedrørende drift av atomreaktorer i Norge reduseres.

6 Hvilke nytteverdier kan gå tapt?

I forrige kapittel ble konsekvenser for FoU-aktivitetene ved Halden og Kjeller av en eventuell nedleggelse av forskningsreaktorene gjennomgått. I dette kapittelet skal vi drøfte hvorvidt nedleggelse av Haldenreaktoren og/eller JEEP II vil føre til at den nytten IFE-miljøet tilfører samfunnet gjennom sin FoU-aktivitet, blir redusert. Nytteverdiene og eventuelle tap er ikke forsøkt kvantifisert. De kvalitative vurderingene tar utgangspunkt i en inndeling av nytteverdibegrepet i *beredskapsverdi*, *realopsjonsverdi* og *bruksverdi*.

Beredskapsverdien er betalingsvilligheten for at en tjeneste skal være tilgjengelig, fordi det hersker usikkerhet om fremtidig behov, men der man ikke ser for seg at usikkerheten vil endre seg vesentlig over tid. Kostnaden ved å holde en slik valgmulighet åpen, kan i vårt tilfelle sammenlignes med en forsikringspremie for sikring mot det tilfellet at en ikke har den kjernefysiske kompetansen som ligger i Halden- og Kjellermiljøet tilgjengelig, hvis og når det skulle bli bruk for den. Siden det ikke finnes noe marked for atomulykkesforsikringer, innebærer en slik beredskap en form for selvforsikring. Beredskapen som ligger i kompetansen knyttet til fortsatt reaktordrift, ansees da som et tiltak for å redusere de negative konsekvensene av en eventuell krisesituasjon. Samfunnet kan også ha betalingsvillighet for en type beredskap som reduserer sannsynligheten for at en krisesituasjon inntreffer, som for eksempel atomsikkerhetsarbeid i nærområdene.

Når en skal vurdere hvorvidt en irreversibel handling skal gjennomføres eller ikke, viste Arrow og Fisher (1974) at usikkerhet om fremtidig nytte av handlingen øker verdien av å holde valgmuligheten åpen til mer beslutningsrelevant informasjon er tilgjengelig. Denne verdien definerer de som ”quasi-option value”. Senere har opsjonsverdibegrepet blitt videreutviklet med utgangspunkt i opsjonsteori slik det benyttes i finansielle markeder, jf. Dixit og Pindyck (1994). Realopsjonsverdien kan defineres som betalingsvilligheten for å ha muligheten til en gang i fremtiden å realisere kjente eller ukjente potensielle verdier som i dag ikke er utnyttet. Denne verdien drives av irreversible beslutninger og knytter seg til at beslutningsgrunnlaget endres over tid. Den kan med andre ord oppfattes som verdien av ”vente og se”- alternativet i forhold til umiddelbar beslutning. Verdien av realopsjonen ved fortsatt reaktordrift ved Kjeller og Halden kan relateres til usikkerheten om den fremtidige energiforsyningen i en verden der klimaproblemene blir stadig mer påtrengende, samt en formodning om at denne usikkerheten vil bli mer avklart innenfor den tidshorisonten som ligger til grunn for vår analyse.

Den direkte bruksverdien til en tjeneste defineres som betalingsvilligheten uttrykt gjennom markedet i dag, manifestert gjennom kjøp fra bedrifter, forskningsinstitusjoner og myndigheter. I tillegg kommer indirekte bruksverdi, som er verdien av positive eksterne effekter knyttet til tjenesten. Den indirekte bruksverdien til forskningen relatert til fortsatt reaktordrift, vil være knyttet til begrepet absorpsjonsevne, internasjonalt kollektivt gode og langsiktig avkastning av FoU.

6.1 Beredskapsverdi av videre reaktordrift

Vi skal her drøfte tap av beredskapsverdi ved eventuell nedleggelse av forskningsreaktorene ut fra nasjonal atomulykkesberedskap, sikring av nærområder og kostnadseffektiv FoU-struktur.

6.1.1 Atomulykkesberedskap

Relevant fagkunnskap er viktig både for å vurdere nasjonale sikkerhetsspørsmål og for å iverksette konkrete sikkerhetstiltak. Selv om relevant ekspertise i noen grad trolig kan kjøpes på den internasjonale forskningsarenaen, er det av strategiske og sikkerhetsmessige årsaker viktig for en nasjon å kunne gjøre vurderinger ut fra nasjonal kompetanse.

Den nasjonale atomberedskapen har sin hjemmel i Kongelig resolusjon av 17.2.2006. *Atomberedskap – Sentral og regional organisering*. Beredskapen er bygget opp rundt Kriseutvalget for atomberedskap som består av representanter fra sentrale myndigheter som har et spesielt ansvar i atomberedskapen. Statens strålevern er leder og sekretariat for Kriseutvalget. Atomberedskapsorganisasjonen er opprettet for å stille ekspertise til rådighet for å håndtere atomhendelser og for å sørge for hurtig iverksettelse av tiltak for å beskytte liv, helse, miljø og andre viktige samfunnsinteresser. Atomhendelser omfatter ulykker, men også hendelser som følge av tilsiktede handlinger i fredstid og ved sikkerhetspolitiske kriser/krig. Dersom det foreligger en atomhendelse eller når en atomhendelse ikke kan utelukkes, og denne kan ramme Norge eller berøre norske interesser, skal Kriseutvalget sørge for koordinert innsats og informasjon. Kriseutvalget har fullmakt til å iverksette forhåndsbestemte tiltak i tidlig fase av en atomhendelse. Kriseutvalgets rådgivere består av representanter fra institusjoner og etater med spesiell kompetanse knyttet til atomberedskap. Ved en atomhendelse skal rådgiverne være et faglig støtteapparat for Kriseutvalget. Kriseutvalget og rådgiverne skal bygge opp, vedlikeholde og koordinere atomberedskapen gjennom kontakt med myndigheter på alle nivåer, informasjonsutveksling mellom medlemsinstitusjonene, vurdering av trusselbildet og gjennomføring av øvelser.

IFE er en av de faglige rådgiverne til Kriseutvalget, og bidrar der med reaktorteknologisk kompetanse (IFE Halden) og operativ strålekompetanse, samt felt- og laboratoriearbeid (IFE Kjeller). I et brev datert 08.09.04, se vedlegg til Prestrudutvalget (2005), skriver Statens Strålevern om bidragene fra IFE til norsk atomulykkesberedskap:

> *"IFE er en del av beredskapsorganisasjonen ved atomulykker, hvor instituttet bidrar som faglig rådgiver med kompetanse for atomberedskapen innen sikkerhet ved nukleære anlegg (spesielt internasjonalt) og vurdering av forløp ved en eventuell ulykke. I tillegg har IFE kompetanse og ressurser innen praktisk og operativt strålevern, felt og laboratoriemålinger (alfa, beta og gamma), radioøkologi og behandling og lagring av radioaktivt avfall. Norsk atomulykkesberedskap vil dekke deler av sitt kompetansebehov på de nevnte områder gjennom IFE sitt miljø på Kjeller.*
>
> *Gjennom sin tilknytning til OECD sin kontaktflate, representerer Haldenprosjektet en verdifull kompetanse om reaktortekniske og sikkerhetsmessige forhold rundt drift av kjernereaktorer og som ikke er begrenset til de reaktorer man finner i Øst-Europa. Denne kompetansen finnes ikke ved IFE Kjeller"*

På spørsmålet om nedleggelse av Haldenreaktoren ville ha konsekvenser for nasjonal atomulykkesberedskap i forbindelse med at forskningskapasitet og nukleær kompetanse faller bort, konkluderte Prestrudutvalget (2005) at slik kompetanse kan hentes inn fra utlandet. Denne konklusjonen forutsetter at IFE Kjeller dekker Kriseutvalgets behov for operativ strålevernkompetanse, og at denne ikke vil bli berørt av at Haldenreaktoren nedlegges. Det legges imidlertid ikke skjul på at nasjonen i en krisesituasjon, hvor det står om tid, uten Haldenreaktoren kan mangle nødvendig kompetanse innen analyse av scenarier og prognoser for ulykkesutvikling. I vår sammenheng er det nettopp denne tilgjengeligheten som er en viktig underliggende faktor for beredskapsverdien av reaktorkompetansen ved IFE.

I ovennevnte brev fra Statens Strålevern har myndighetene tilkjennegitt positiv betalingsvillighet for redusert risiko ved eventuell atomulykke, basert på behovet for kompetansen knyttet til reaktordriften ved Kjeller og Halden. En eventuell nedleggelse av JEEP II eller Haldenreaktoren vil derfor føre til et betydelig tap av nasjonal beredskapsverdi for atomulykker.

6.1.2 Sikring av nærområdene

Russiske atominstallasjoner og atomkraftverk utgjør den største potensielle faren for radioaktiv forurensing og helseskade i Norge. I følge Utenriksdepartementet er satsing på atomberedskap og oppryddingstiltak i nordområdene derfor svært viktig for å kunne beskytte befolkningen, næringsinteresser og miljøet mot radioaktiv forurensning.

Grunnlaget for norsk innsats på atomsikkerhetsområdet ble lagt i St. meld nr. 34 (1993-94) *Atomvirksomhet og kjemiske våpen i våre nordlige nærområde* og en handlingsplan ble iverksatt i 1995. Siden den gang og frem til 2005 har Stortinget bevilget over 1 milliard kroner til dette arbeidet, i hovedsak i Nordvest-Russland, jf. Utenriksdepartementet (2005). Rundt to tredjedeler av midlene er brukt til tiltak for å redusere risikoen for ulykker ved russiske kjernekraftverk i våre nærområder og til sikker håndtering og lagring av radioaktivt materiale og brukt kjernebrensel. De mest sentrale oppgavene de siste årene har vært opphugging av utrangerte atomdrevne ubåter, fjerning av strålefarlige kilder i fyrlykter og sjømerker langs den russiske kysten ved Barentshavet og erstatting av disse med solcellepaneler, og infrastrukturtiltak som forbereder sikring og fjerning av de store mengdene brukt kjernebrensel ved den nedlagte marinebasen i Andrejevbukta, nær den norske grensen.

Norge deltar i dag i ulike atomsikkerhetssamarbeid, blant annet i EUs nordlige dimensjons miljøpartnerskap (NDEP), der Norges bidrag er på 10 millioner euro, og G8-landenes Globale partnerskap mot spredning av masseødeleggelsesvåpen og masseødeleggelsesmateriale, der Norge har stilt i utsikt et bidrag på 100 millioner euro i perioden 2002-2012. Innen utløpet av perioden skal arbeidet med å hugge opp alle gjenværende utrangerte atomubåter være fullført. Arbeidet med å sikre lagrene av radioaktivt avfall og brukt kjernebrensel ved Nordflåtens tekniske baser har et lengre perspektiv. Regjeringen har som mål å fortsette, og utvide, samarbeidet mellom norske og russiske forvaltnings- og tilsynsmyndigheter på atomsikkerhetsområdet.

Mange ulike aktører har fra norsk side vært involvert i arbeidet med Handlingsplanen for atomsaker. Blant de mest sentrale er Utenriksdepartementet, Miljøverndepartementet, Forsvarsdepartementet, Statens strålevern, Fylkesmannen i Finnmark, Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI) og IFE. Statens strålevern har siden 2003 vært fagdirektorat for Utenriksdepartementet i gjennomføringen av Handlingsplanen.

IFE Halden har vært sentral i UDs prosjekter under Atomhandligsplanen mot kjernekraftverkene på Kolahalvøya og Leningradverket nær St. Petersburg helt siden den ble iverksatt i 1995. I perioden 2004-2006 har IFE Halden hatt ansvaret for gjennomføring av 6 prosjekter mot Kolaverket, ett prosjekt mot Leningradverket og ett prosjekt mot Tsjernobylverket (tilpasning av treningssimulatoren for brenselsbytte som er utviklet for Leningradverket, til trening av operatører ved Tsjernobylverket som skal fjerne brensel ved dekommisjonering av reaktorene der). IFE har videre deltatt aktivt i AMEC-samarbeidet (Arctic Military Environmental Co-operation), som var det første formaliserte multilaterale samarbeidet Norge inngikk i for å sikre forsvarlig håndtering og lagring av brukt militært kjernebrensel og radioaktivt avfall i Nordvest-Russland, opprettet i 1996. Prioriterte prosjekter har vært sikrere håndtering, transport og lagring av brukt kjernebrensel og fast

radioaktivt avfall, og bedre strålingssikkerhet. AMEC spiller en viktig rolle i å engasjere russiske militære myndigheter i atomsikkerhetssamarbeidet.

I et brev til Haldenreaktor-utvalget, jf. Prestrudutvalget (2005), skriver Utenriksdepartementet at IFE og Haldenprosjektet er en uunnværlig del av det norske fagmiljøet som departementet støtter seg på i arbeidet med Handlingsplanen. Selv om departementet i samme brev signaliserer at bidragene til norske sikkerhetstiltak ved russiske kjernekraftverk skal reduseres, trekkes det frem andre typer myndighetsinitierte sikkerhetstiltak og oppgaver som vil være aktuelle fremover og der IFE/Haldenprosjektet vil være et viktig kompetansemiljø. Eksempelvis bidrar prosjektet til å opprettholde et internasjonalt nettverk av teknisk ekspertise på mange områder innenfor atomsikkerhetsfeltet. Videre heter det at *"Minst like viktig er det likevel at prosjektet bidrar til å opprettholde og utvikle et norsk ekspertmiljø, som igjen er en viktig premissleverandør for norske prioriteringer innen internasjonalt atomsikkerhetsarbeid. Et slikt miljø vil, etter Utenriksdepartementets syn, ikke uten videre kunne erstattes av utenlandsk kompetanse*."

I følge Statens strålevern (www.handlingsplan.nrpa.no) kan norske interesser i tillegg bli betydelig berørt av prioriteringer som gjøres av andre land og av de løsninger som velges. Derfor må Norge bruke kompetansen og erfaringene på området til å påvirke det internasjonale atomsikkerhetssamarbeidet, noe som krever aktiv deltakelse i alle internasjonale fora der atomsikkerhet drøftes og et fortsatt nært samarbeid med alle berørte russiske tilsyns- og forvaltningsmyndigheter. Nære bilaterale forbindelser med sentrale vestlige land vil være et viktig ledd i påvirkningsarbeidet, noe som fordrer at Norge også er med som økonomisk bidragsyter. Norges etablerte rolle i internasjonale fora på atomsikkerhet kan imidlertid svekkes ved nedleggelse av Haldenreaktoren, jf. uttalelse fra NEA (2008), se Vedlegg 1: *"the closure of the Halden reactor may reduce the profile that Norway currently has in the international nuclear safety community*."

Brevet fra Utenriksdepartementet kan tolkes som positiv betalingsvillighet fra myndighetenes side for redusert risiko for atomulykker i nærområdene, gjennom eksistensen av et norsk forskningsmiljø med IFEs reaktorkompetanse og internasjonale nettverk. Kompetansen og nettverket er i første rekke knyttet til Haldenprosjektet. I den grad Haldenprosjektet ikke vil bestå dersom forskningsreaktoren nedlegges, er beredskapsverdien av IFE og tilknyttet kompetanse betinget av fortsatt drift av Haldenreaktoren. Betydningen av reaktoren for Haldenprosjektet er tydeliggjort av OECD/NEA, jf. vedlegg til Prestrudutvalget (2005) der NEA skriver *"In the view of NEA, the 'perspective of Halden for farming out irradiation tasks to other test reactor whilst retaining control of the research programs' bears little realism and limited chances of success"*. Beredskapsverdien i denne sammenhengen er i liten grad betinget av drift av JEEP II.

6.1.3 Del av kostnadseffektiv FoU-struktur

Den norske næringsstrukturen er karakterisert ved internasjonalt sett relativt små bedrifter. Det kan derfor ut fra et samfunnsøkonomisk perspektiv være hensiktsmessig at myndighetene organiserer offentlig forskning i frittstående forskningsinstitutt som et alternativ til at hver enkelt bedrift etablerer en forskningsstruktur som del av egen virksomhet. Instituttene belastes dermed med de store etableringskostnadene forbundet med forskningsinfrastrukturen, mens bedriftene kan gå til instituttene og kjøpe forskningstjenester rimeligere enn om de hadde måttet produsere dem selv. Bak denne forskningsstrategien ligger det en tanke om at det har en verdi at det forskes nasjonalt på områder som norske bedrifter kan etterspørre tjenester innenfor. Hvis ikke, kan det argumenteres for at det kunne vært enda mer kostnadseffektivt at bedriftene kjøpte forskningstjenester i det internasjonale forskningsmarkedet. Verdien av å ha

et forskningsmiljø med tilgang til reaktorer på norsk jord, kan i dette tilfellet være motivert ut fra kulturelle/språklige, økonomiske, sikkerhetsmessige eller geografiske barrierer.

Ut fra norske myndigheters forskningsstrategi, kan en argumentere for at det å ha tilgjengelig et forskningsmiljø med nasjonal tilgang til og kompetanse på reaktordrift av typen HBWR og JEEP II ved Halden og Kjeller, har en beredskapsverdi som kostnadseffektiv forskningsinfrastruktur for norske bedrifter. Denne verdien vil forsvinne hvis reaktorene blir nedlagt.

6.2 Opsjonsverdi av videre reaktordrift

Forskning handler i stor grad om å skape muligheter. Et lite land som Norge kan imidlertid ikke ha mål om å dyrke frem verdensledende forskningsmiljøer innenfor alle fagfelt. Ressursene må derfor kanaliseres mot å holde mulighetene åpne (beholde opsjonene) innenfor de fagretninger en har gode forutsetninger for å lykkes i og/eller der en forventer omfattende fremtidige behov.

Realopsjonsverdier knytter seg til forhold som endrer seg over tid. Når det gjelder den nukleære forskningen ved IFE, handler det om verdien av å ha den kompetanse som bare kan sikres ved fortsatt reaktordrift. Dette gjelder muligheten for kommersiell kjernekraftutvikling i Norge spesielt og for mer klimavennlig energiproduksjon generelt.

6.2.1 Fremtidig energiforsyning

Innenfor feltene energi, klima og miljø står verden overfor store utfordringer. Den globale befolkningsveksten, sammen med økende levestandard, er forhold som bidrar til å eskalere behovet for energi til kommende generasjoner. Samtidig er oppmerksomheten rundt den potensielle klimatrusselen skjerpet, noe som har ført til høyere krav til mer miljøvennlige energikilder enn det som benyttes i dag. Det langsiktige målet for energiforsyningen er at den skal være basert på CO_2-frie energikilder. Imidlertid er det ingen som vet når dette kan bli en realitet. Det er heller ikke klart hvilke energiløsninger som vil være det beste alternativet til fossilt brensel. Denne usikkerheten innebærer at det i dag er vanskelig å fatte beslutninger i forhold til fremtidens energiutfordringer. Forskning kan i denne sammenheng sees på som et instrument, hvis hovedoppgave er å avdekke usikkerhet om fremtidige energiløsninger. En vid orientering av den forskningen som er knyttet opp til energi, klima og miljø er derfor viktig for å ivareta høy fleksibilitet i forhold til potensielle energiløsninger. Det å beholde en stor grad av fleksibilitet knyttet til ulike potensielle alternativer, er i seg selv verdifullt. Spesielt vil dette være gjeldende i tilfeller med stor usikkerhet om fremtidige behov, og der en eventuell nedtrapping av forskningskompetanse er irreversibel i den forstand at en reetablering av kompetansen ved behov på et senere tidspunkt, kan bli svært kostbart.

Kjernekraft er en av flere mulige løsninger på klimautfordringene. Selv om kjernekraft ikke er fornybar, tilfredsstiller den kravene om null CO_2-utslipp. Etter en periode nærmest uten internasjonal utbygging av kjernekraftverk, etter Tsjernobyl-ulykken i 1986, er det nå mange land som bygger eller planlegger å bygge nye atomreaktorer, jf. fremstillingen i kapittel 3. Ny og sikrere reaktorteknologi samt en stadig økende etterspørsel etter CO_2-fri energi, kan med tiden føre til politisk aksept for nødvendigheten av å utvikle og bygge atomkraftverk også i Norge. En vesentlig opsjonsverdi ved fortsatt reaktordrift i Norge kan derfor ligge i muligheten for at man i fremtiden kan finne det ønskelig å starte kommersiell atomkraftproduksjon i Norge. I så tilfelle vil det være viktig å ha lokal kompetanse som kan legge til rette for en slik utbygging.

De eksperimenter som i dag utføres ved Haldenreaktoren er rettet mot generasjon III og III+ reaktorer. Når det gjelder forskningen på generasjon IV reaktorer, vil det etter hvert bli behov for material og brenseltesting. For to av generasjon IV-konseptene vil det i følge egenevalueringen kunne være mulig å teste brensel og materialer i Haldenreaktoren. Dette gjelder reaktortypene SCRW og VHTR, jf. avsnitt 3.2.2. Ut over dette mener IFE at Haldenreaktoren og fagkunnskapen der også vil kunne bli etterspurt for forskningen på generasjon IV reaktorer, når denne kommer utover konseptstadiet.

I den senere tid er også thorium blitt vurdert nærmere som brensel til framtidige reaktorer, en mulighet spesielt India forsker på. Mulighetene vurderes også i Norge. Man vil for foreslåtte reaktortyper, der en tenker å benytte thorium som brensel, kunne teste brenselet i Haldenreaktoren. Allerede på 60- tallet ble det testet brenselselementer av thorium i Haldenreaktoren. Thoriumutvaget anbefaler i denne sammenhengen blant annet at:[23]

> "*…the thorium option be kept open in so far it represents an interesting complement to the uranium option to strengthen the sustainability of nuclear energy."*

Det konkluderes også i rapporten at:

> *"Testing of thorium fuel in the Halden Reactor should be encouraged, taking benefit of the well recognized nuclear fuel competence in Halden."*

En eventuell nedlegging av Haldenreaktoren vil føre til at opsjonsverdien ved å beholde kompetansen på brensel og materialforskning for mulig fremtidig utbygging av kommersiell kjernekraft i Norge, vil forsvinne eller svekkes betydelig.

Opsjonsverdien til fortsatt drift av JEEP II vil i hovedsak knytte seg til betydningen denne reaktoren har for reaktormiljøet i Halden. Som drøftet i avsnitt 5.3, er komplementariteten her relativt liten.

6.2.2 Prioriterte forskningstema

I St. meld. nr. 20 (2004-2005) *Vilje til forskning*, fremheves det at realfagene generelt sett skal styrkes gjennom å prioritere matematisk, naturvitenskaplig og teknologisk forskning. Det legges vekt på at dette er viktige forskningsområder både med hensyn til verdiskapning direkte og for å evne å forstå våre omgivelser og å vurdere hvorvidt vi skal ta i bruk eller avvise denne type kunnskap. Regjeringen foreslår i meldingen konkret satsing på de fire tematiske områdene energi og miljø, hav, mat og helse. Strukturelt skal det satses på internasjonalisering, grunnforskning og forskningsdrevet utvikling og innovasjon. Prioriterte teknologiområder er IKT, nye materialer/nanoteknologi, samt bioteknologi. Fra myndighetenes ståsted er dette viktige teknologiområder for utvikling av miljøteknologi. Forskningsrådet har i tråd med dette en nasjonal forskningsstrategi for nye materialer og nanoteknologi, jf. Forskningsråd (2006). Dette fagfeltet er også prioritert innenfor den internasjonale forskningsarenaen, der for eksempel EUs 7. rammeprogram har et tematisk område på "Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies" (NMP). Til sist kan nevnes at strategigruppen i "Energi21", jf. OED (2008), nevner hydrogen og sikkerhet ved kjernekraft blant flere energiteknologier det anbefales at Norge satser på, fordi de kan få stor betydning i fremtiden.

[23] Thorium as an Energy Source – Opportunities for Norway, January 2008

IFE-miljøet driver forskningsaktivitet på flere områder som er svært relevante innenfor de nasjonale forskningsprioriteringene, i første rekke energi og miljø, men også helse. Nøytroner fra JEEP II gir blant annet Fysikkavdelingen på Kjeller mulighet til å drive grunnforskning på nye materialer for hydrogenlagring og nanoteknologi, og JEEP II ansees av Forskningsrådet for å være viktig for den nasjonale forskningen på dette feltet. Videre er Fysikkavdelingen ved IFE i dag med i alle EUs programmer på nye materialer for hydrogenlagring.

Det er de siste årene blitt internasjonal enighet om at global oppvarming er en av de største utfordringer som verdenssamfunnet har stått overfor. Siden verden opplever en sterk vekst i energikonsum vil man være avhengig av å utvikle konkurransedyktig energiproduksjon som ikke innebærer utslipp av klimagasser. Selv med relativt høye energipriser er det i dag behov for betydelige subsidier for å bygge ut fornybar energiproduksjon basert på sol, vind og bølge. Det vil derfor være nødvendig med en storstilt internasjonal satsing på forskning og utvikling innen fornybar energi de neste tiårene. Dette både for å hindre varige og irreversible klimaendringer og for å sikre en langsiktig tilgang på energi til kostnader som ikke medfører redusert levestandard. Opsjonsverdien av å ha et forskningsmiljø tilknyttet JEEP II ligger dermed i tilgjengeligheten for undersøkelser innen nano- og materialvitenskap, som danner grunnlaget for utvikling av nye materialer og teknologi for kostnadseffektiv anvendelse av hydrogen som energibærer. Denne verdien vil bli vesentlig redusert ved en nedleggelse av reaktoren, både direkte – gjennom at fysikkavdelingen mister tilgangen til å benytte nøytronspredning fra reaktoren, og indirekte – gjennom at forskningen ved for eksempel UiO, NTNU og SINTEF svekkes (via program som FUNMAT og COMPLEX). Uten Jeep II vil også IFEs grunnforskning og annen virksomhet innen kjernekjemi og kjernefysikk, radiokjemi, radioaktiv stråling, sporstoffteknikk mm. svekkes, og en viktig del av norsk nukleær kompetanse kan falle bort. Kjeller-miljøet vil i mindre grad kunne bidra med relevant undervisning og veiledning av nye kandidater innen det nukleære feltet, slik det gjøres i dag. For kjernefysikk/kjemi-studiene ved UiO, hvor undervisnings- og veiledningsressurssene er under kritisk masse, vil en nedleggelse av JEEP II reaktoren vanskeliggjøre rekrutteringen av nye kandidater til forskningsfeltet.

En eventuell nedleggelse av Haldenreaktoren vil spille en mindre rolle for kompetansen og resultatene innenfor de høyt prioriterte forskningsområdene i Norge i dag.

6.3 Direkte bruksverdi av videre reaktordrift

Den direkte bruksverdien av FoU-tjenester som tilbys av IFE-miljøet, er representert ved prosjektinntekter fratrekt produksjonskostnader pluss et nytteoverskudd for brukerne. Nytteoverskuddet er definert som summen av merverdien som brukerne høster utover det de betaler for, ved at IFE yter dem forskningstjenester. Brukerne kan være bedrifter, forskningsinstitusjoner og myndighetene. Vi forutsetter her at prosjektinntektene som IFE mottar i sin helhet går med til å dekke lønnskostnader, sosiale kostnader, overhead etc. Tap av direkte bruksverdi som følge av en nedleggelse av en eller begge forskningsreaktorene, vil dermed bestå av en eventuell reduksjon i nytteoverskuddet til brukerne.

6.3.1 Kjøp av tjenester fra bedrifter og forskningsinstitusjoner

Når en bedrift velger å kjøpe FoU-tjenester fra et forskningsinstitutt, kan målet for eksempel være fremskaffelse av ny teknologi, et nytt produkt eller å starte en innovasjonsprosess. Alternativt kan det være å avdekke usikkerhet i form av å utelukke en mulighet. Uansett er det ofte vanskelig å si på forhånd om prosjektet vil gi det ønskede resultatet. Det vil imidlertid alltid være en positiv sannsynlighet for at FoU-prosjektet kan gi en betydelig økonomisk gevinst. I det tilfellet FoU-oppdraget resulterer i en eller annen form for nyvinning, tilfaller

imidlertid den økonomiske gevinsten oftest bedriften og ikke forskningsinstituttet. Denne gevinsten kan i enkelte tilfeller være betydelig. Et eksempel fra IFEs historie er utviklingen av OLGA, en regnemaskinmodell for dynamisk simulering av flerfasestrøm i oljerørledninger. Denne modellen har vært avgjørende for løsninger av oppgaver på sokkelen. OLGA er nå standard over hele verden og har ca 80 % av markedet på dette feltet.

Et kjennetegn ved IFE og spesielt aktiviteten i Halden er et betydelig innslag av bilaterale prosjekter og spesielt skiller instituttet seg fra andre norske institutt med et stort innslag av internasjonal finansiering. Kundemassen spenner fra internasjonale forskningsinstitutter til kraftprodusenter og petroleumsrelaterte selskaper. Møreforsking gjennomførte i 2000 (Hervik og Rye) en brukerundersøkelse hvor 70 % av bilaterale prosjekter avsluttet i perioden 1998-2000 ble intervjuet. Det ble gjennomført åtte dybdeintervju med i hovedsak store utenlandske brukere ved siden av telefonintervju. Basert på intervjuene var det mulig å gjøre benchmark med 21 andre norske forskningsinstitutt som hadde svart på de samme spørsmålene. Noen hovedpunkter fra denne evalueringen viser at 37 % av disse bilaterale prosjektene hadde høyt forskningsinnhold (score 5-7 hvor 7 markerer forskningsfronten og 4 anvendt forskning) og dette er nesten 10 prosentpoeng over de andre instituttene. På den andre siden var 35 % av prosjektene mer konsulentbasert noe som også er høyere andel enn i de andre instituttene. IFE Halden har dermed en høyere andel med høyt forskningsinnhold enn de andre instituttene, men samtidig også en høyere andel konsulentpregede oppdrag. Det er spesielt de utenlandske prosjektene som har høyt forskningsinnhold. En viktig konklusjon fra dybdeintervjuene var at Haldenprosjektet var den viktigste grunnen for brukerne til å velge IFE i bilaterale prosjekter. Deres gode internasjonale renommé var først og fremst etablert gjennom Haldenprosjektet og at dette internasjonale nettverket ble vurdert som den viktigste styrken til IFE i henhold til disse internasjonale brukerne. I egenevaluering skriver IFE at mer enn 50 % av de bilaterale oppdragsinntektene er knyttet til eksperimenter i Haldenreaktoren. I tillegg hevdes det at omfanget av videreføringen av MTO-aktivitetene er avhengig av om man klarer å opprettholde et fellesprogram på MTO-området, noe som er høyst usikkert.

I foreliggende evaluering er betydningen av Haldenprosjektet fulgt opp med et eget møte med nøkkelpersoner i NEA/OECD avholdt den 24.01.08, se Vedlegg 1 for en oppsummering fra møtet. På spørsmål om konsekvenser for Haldenprosjektet av en eventuell nedleggelse av forskningsreaktoren er konklusjonen ”*Shutting down the reactor would in the short term result in a decrease of the Halden program size to less than half of its current size. From the perspective of the NEA member countries, a closure of the Halden reactor would represent a significant loss of experimental capability, which would need to be established elsewhere.*”

Det synes som om kjernekraft er aktuell som mulig energikilde i mange land. Det gjelder også innenfor de områdene man har kompetanse på ved IFE Halden/Haldenprosjektet, noe som sannsynliggjør at det i årene fremover fortsatt vil være etterspørsel etter FoU-tjenester innen kjernekraftfeltet. Dette taler for at en eventuell nedleggelse av Haldenreaktoren, med påfølgende svekkelse av Haldenprosjektet, vil redusere etterspørselen av bilaterale prosjekter fra utenlandske brukere. Dette gjelder også utenlandske kjøp av bilaterale MTO-oppdrag. Tap av merverdi for utenlandske brukerne avhenger imidlertid av hvor raskt og til hvilken kostnad OECD/NEA får etablert tilsvarende forskningsfasilitet som Haldenreaktoren. Tap av merverdi for norske brukere ved nedleggelse av reaktoren, vil først og fremst være relatert til svekkelse av MTO-forskningen. Holdes de utenlandske brukerne utenfor, kan tap av direkte bruksverdi for bedrifter/institusjoner ved nedleggelse av Haldenreaktoren sies å være relativt liten.

IFE Kjeller har, sammenlignet med Halden, mer grunnforskningsorientert virksomhet. Fysikkavdelingens FoU-oppdrag er i hovedsak store Forskningsrådsfinansierte

grunnforskningsprosjekter, samt utdanning og veiledning av kandidater innen kjernefysikk/kjemi. Prosjekter ved ReLe har karakter av anvendt FoU-arbeid hvor oppdragsgiverne er oljeselskaper med Forskningsrådsstøtte. Det tilsvarende gjelder for prosjekter ved miljø- og strålevern og isotoplaboratoriene, der oppdragsgiverne er norske og nordiske offentlige institusjoner. I egenevalueringen fremgår det at IFE-miljøets tilgang til JEEP II reaktoren som nøytronkilde er pålitelig og billig i drift. Dette er faktorer som tilsier at IFE med reaktoren kan tilby forskningstjenester til konkurransedyktige priser i tiden fremover. Videre sannsynliggjøres det at etterspørselen etter nukleærrelaterte FoU-tjenester ikke vil avta fremover. De tre områdene av petroleumsforskning hvor IFE er verdensledende; korrosjon, prosess, strømning og tracerteknologi, er for eksempel direkte ”spin-offs” av den nukleære virksomheten.

Som påpekt tidligere, vil en eventuell nedleggelse av JEEP II få konsekvenser for Forskningsrådets prosjekter innen nanovitenskap og nanotekonlogi, der IFE er deltaker, samt de nasjonale samarbeidsprosjektene FUNMAT og COMPLEX. JEEP II er også et viktig bidrag i seks EU prosjekter og flere internasjonale samarbeidsprosjekter, blant annet med USA og Japan. Ved nedleggelse av JEEP II må forskningsprosjekter innen petroleums- og prosessindustrien og nukleærmedisin få produsert radioaktive sporstoffer og kilder ved andre reaktorer. Dette vil gjøre prosjektene mer kostbare, eller i ytterste konsekvens umulige å gjennomføre.

Konsekvensene for norske brukere av nukleære FoU-tjenester av en eventuell nedleggelse av JEEP II, er kartlagt i forbindelse med denne evalueringen gjennom intervjuer av sentrale samarbeidspartnere foretatt i perioden 04.02.08- 22.02.08. Det fremkommer at universitetsmiljøene legger stor og til dels avgjørende vekt på reaktorens betydning for utdanning og forskning og flere mener at ”dens betydning som hjemmelaboratorium ikke kan erstattes”. Det er også bred enighet om at det er høy kvalitet på staben og at samarbeidet med IFE har meget stor betydning for egen forskning. Bedriftene som er intervjuet gir uttrykk for at selve reaktoren er av liten direkte betydning for deres FoU-kjøp, men kvaliteten på IFEs tjenester og kompetanse med hensynt til håndtering og analyser av radioaktive stoffer gir IFE et konkurransefortrinn sammenlignet med andre. På bakgrunn av drøftelsen ovenfor kan det konkluderes med at en betydelig direkte bruksverdi kan gå tapt, dersom JEEP II blir nedlagt.

6.3.2 Kjøp av tjenester fra det offentlige/myndighetene

Politikere/myndigheter deltar i mange internasjonale fora hvor rådgivning på atomsikkerhet er viktig. IFEs ansvar for å operere JEEP II-reaktoren og Haldenprosjektet medfører at Norge kan delta med nødvendig kompetanse i ulike styrings-, rådgivnings- og arbeidsgrupper innen dette området. Gjennom reaktorvirksomheten i Halden får norske myndigheter tilgang til internasjonalt anerkjent ekspertise på sikkerhetsaspekter ved kjernekraft og derved nødvendig troverdighet i internasjonale organer og internasjonalt samarbeid hvor atomsikkerhet står på agendaen.

På oppdrag for Utenriksdepartementet gjennomfører IFE, Forsvarets forskningsinstitutt (FFI), Norsk Utenrikspolitisk Institutt (NUPI) og Statens strålevern en rekke prosjekter innen atomnedrustning, ikke-spredning og fredelig bruk av nukleærteknologi og nukleære materialer. Innenfor rammen av nedrustning og ikke-spredning har UD bevilget penger til flere prosjekter både i 2006 og 2007. Norge har de to siste årene også vært styremedlem i det internasjonale atomenergibyrået IAEAs styre. I denne perioden har IFE deltatt i Utenriksdepartementets forberedelser til styremøtene. Videre har IFE i flere år deltatt i forberedelsen til og i den norske delegasjonen til generalkonferansen til IAEA. Fra Tabell 3 i kapittel 2, der IFE Kjellers finansiering av nukleær virksomhet for 2006 er brutt ned i

underposter, finner vi for eksempel at instituttet har mottatt 8 mill. kroner for diverse tjenester og myndighetsoppgaver.

Det er rimelig å anta at norske myndigheter har nytte utover det beløpet de betaler IFE for utførte FoU-tjenester. Dersom forskningsreaktorene legges ned, vil myndighetene måtte kjøpe slike tjenester andre steder. Noen tjenester kan trolig kjøpes ved utenlandske FoU-institutt, men enkelte myndighetsoppgaver vil være betinget av fortsatt nasjonal reaktordrift. Dermed vil en direkte bruksverdi knyttet til det offentliges nytteoverskudd for nukleære FoU-tjenester gå tapt, dersom forskningsreaktorene, og spesielt Haldenreaktoren, legges ned.

6.4 Indirekte bruksverdi av videre reaktordrift

Den indirekte bruksverdien for forskningsreaktorene kan betegnes som de positive eksterne virkningene absorpsjonsevne, internasjonalt kollektivt gode og langsiktig avkastning av FoU.

6.4.1 Absorpsjonsevne

Med absorpsjonsevne menes forskningsinstitusjonens evne til å være en aktør på den internasjonale forskningsarenaen, for i neste omgang å la ny forskningskunnskap flyte over til nasjonale bedrifter og utdanningsinstitusjoner gjennom arbeidsvandring, prosjektarbeid, undervisning og veiledning av studenter. For å få innpass i de fremste forskningsmiljøene i verden på sitt fagfelt, må forskningsmiljøet bidra med vitenskapelige arbeider på den internasjonale forskningsfronten. En indikator på om et miljø lykkes i så henseende, er å undersøke hvorvidt forskningen leder frem til publiseringer i internasjonale tidsskrift med fagfellevurdering (referee), samt om forskerne presenterer sine arbeider på internasjonale konferanser. Den potensielle nytten av å hente hjem nye forskningsresultater blir imidlertid ikke realisert, hvis ikke forskningsmiljøet kommuniserer med omgivelsene. Denne evnen kan måles gjennom identifisering av relevante møtepunkter med bedrifter og utdanningsinstitusjoner.

I kapittel 2 ble IFE-miljøets FoU-virksomhet, internasjonale forskernettverk, vitenskaplige publisering, konferansebidrag, samt deltagelse i undervisnings- og veiledningsoppdrag presentert. Det fremkom at forskere ved IFE Kjeller er aktører på den internasjonale forskningsarenaen på relevante nukleære områder. IFEs aktiviteter knyttet til Haldenreaktoren har en annen profil og forskermiljøet ved IFE Halden har derfor ikke tilsvarende grunnforskningsaktivitet på den internasjonale forskningsarenaen. Både IFE Kjeller og IFE Halden har imidlertid kontakt med studenter på universitets/høgskolenivå gjennom undervisningsoppdrag, veiledning og såkalte II'er stillinger. Gjennom bilaterale prosjekter og forskningsoppdrag med brukermedvirkning, har de nukleære miljøene ved IFE etablerte kontaktflater for kommunisering av ny kunnskap og teknologi til norske bedrifter. Kompetanseoverføring skjer også gjennom arbeidsvandring. Tabell 8 nedenfor viser hvilke arbeidsplasser tidligere fagpersoner ved Halden og Kjeller har gått til i perioden 2004-2006. Tabellen viser at industrien har mottatt den høyeste andelen tidligere IFE-ansatte i denne perioden.

Tabell 8 Mobilitet/turnover perioden 2004-2006, Halden og Kjeller

	Halden	Kjeller	Totalt
Universitet/Høgskole	1	1	2
Forskningsinstitutt	1	1	2
Helseinstitusjon	1	1	2
Departement	0	1	1
Industri	4	15	19
Konsulentfirma	2	0	2
Undervisning (videregående)	1	0	1
Eget firma	1	0	1
Pensjonist	4	2	6
Ukjent	3	2	5
Totalt	**18**	**23**	**41**

Ved en eventuell nedleggelse av JEEP II reaktoren vil det nukleære miljøet ved IFE Kjeller miste en sentral forskningsfasilitet, noe som vil ramme aktivitetene som i dag gir miljøet innpass i internasjonale forskernettverk. Absorpsjonsevnen som miljøet har opparbeidet innen nukleære fagområder kan derfor bli vesentlig svekket.

Forskningsmiljøet knyttet til Haldenreaktoren har som nevnt ikke tilsvarende posisjon på den internasjonale forskningsarenaen, men gjennom Haldenprosjektet og MTO-forskningen har miljøet likevel et omfattende internasjonalt forskningsnettverk. I uttalelse til Konsekvensutredningsutvalget (Prestrud-utvalget) i desember 2004 sier Prof. Ivar Bjørgen, Psykologisk Institutt, NTNU: ”*For studenter og ansatte ved NTNU er det av stor betydning at IFE Halden har et internasjonalt forskningsprogram. Dette innebærer at NTNU får tilgang til et internasjonalt MTO forskningsnettverk. IFE Halden fungerer dermed som en døråpner for NTNU sitt psykologistudium*”. Betydningen for absorpsjonsverdien til IFE Halden ved en eventuell nedleggelse av Haldenreaktoren, vil altså være knyttet til om Haldenprosjektet kan fortsette i sin nåværende form uten reaktoren, noe det gjennom samtaler med NEA har blitt sådd sterk tvil om. Uten Haldenreaktoren vil derfor IFE Haldens absorpsjonsevne kunne bli vesentlig redusert.

6.4.2 Internasjonalt kollektivt gode

De nukleære aktivitetene ved IFE kan også generere positive eksterne effekter sett fra et internasjonalt ståsted. Slike effekter faller inn under kategorien indirekte bruksverdi. Vi har identifisert fire områder der IFEs forskningsaktivitet har karakter av å være et internasjonalt kollektivt gode. Disse områdene er offentlig regulering, overvåkning, brenselseffektivitet og utvikling av bærekraftig energiteknologi, og blir drøftet i det følgende.

Deltakerne i Haldenprosjektet er hovedsaklig reguleringsmyndigheter. Siden industrien får tilgang til forskningsresultatene fra Haldenprosjektet via bilaterale prosjekter, vil industrien ha den samme forståelse av reguleringskravene som myndighetene. I følge NEA er dette av stor betydning for sikkerhetsarbeidet i land med kommersiell kjernekraft. Fra NEA påpekes det også at resultatene fra Haldenprosjektet har høy troverdighet, siden Norge er nøytralt i atomkraftsammenheng, og dermed fri fra kommersielle bindinger og påvirkninger. Forskningen på atomsikkerhet ved IFE gjennom bruk av Haldenreaktoren, kan altså gi en nytteverdi utover det som ble diskutert under beredskapsverdi – sikring av nærområder – i avsnitt 6.1.2. Videre har IFE-miljøet, med utgangspunkt i kompetansen og tilgjengeligheten

til forskningsreaktorene, flere roller og verv knyttet til internasjonal atomsikkerhet. IFE-ansatte har deltatt i ekspertgrupper nedsatt av IAEA for å vurdere sikkerheten ved utenlandske nukleære anlegg. Her kan nevnes deltagelse IAEA-grupper der forskningsreaktorer i Afrika har blitt vurdert sett opp mot IAEAs standarder for fysisk beskyttelse av slike anlegg. Foruten deltagelse i IAEA er de viktigste organisasjonene IFE deltar i OECD-NEA (organisasjonen for økonomisk samarbeid og utvikling), IEC (den internasjonale elektrotekniske standardiseringsorganisasjonen), EWICS (europeisk arbeidsgruppe innenfor informasjon og kontroll-systemer) og EAES (det europeiske atomenergisamfunnet).

MTO-forskningen innenfor Haldenprosjektet bidrar til å utvikle metoder for økt automatisering og visualisering. Dette fremheves av NEA som en viktig faktor for å redusere potensialet for menneskelige feil i styring og vedlikehold av komplekse industrielle systemer. Både kjernekraftindustrien og andre industrier, som for eksempel petroleumsindustrien, har derfor nytte av MTO-delen av Haldenprosjektet for utvikling av automatisert overvåkning og vedlikehold.

En annen del av forskningen i Haldenprosjektet skjer innenfor kjernebrensel. Dette området er viktig internasjonalt av flere grunner. For det første fører forskningen til økt sikkerhet ved atomkraftanlegg. For det andre bidrar den til økt utnyttelsesgrad av kjernebrensel, noe som har stor betydning for lønnsomheten i kjernekraftproduksjonen.

Deler av den nukleære virksomheten ved Kjeller angår utvikling av ny klimavennlig energiteknologi, først og fremst grunnforskningen på nye materialer for hydrogenlagring – der fysikkmiljøet publiserer på den internasjonale forskningsfronten. Gitt klimatrusselen, har forskning som kan bidra til å redusere eller erstatte bruken av fossile energikilder i et globalt omfang, verdi for det internasjonale fellesskapet.

Ved en eventuell nedleggelse av Haldenreaktoren, vil tap av indirekte bruksverdi knyttet til en reduksjon av internasjonale forskningsbidrag innen offentlig sikkerhetsregulering, overvåkning og brenselseffektivitet være betydelig. En eventuell nedleggelse av JEEP II vil innebære reduksjon av internasjonale forskningsbidrag relatert til utvikling av ny miljøvennlig energiteknologi, som gir tap av indirekte bruksverdi.

6.4.3 Langsiktig avkastning av FoU

En nasjons evne til å utnytte ny teknologi er blant annet avhengig av landets satsing på grunnforskning.[24] I et langsiktig perspektiv – hvis man lykkes med en effektiv forskningsstrategi – vil forskningsaktiviteten slå ut i større verdiskapning gjennom økt produktivitet i bedriftene.

Oppdrag og prosjekter som norske bedrifter, forskningsinstitutter og myndigheter kjøper fra IFE, har et relativt høyt forskningsinnhold. Dette innebærer at FoU-tjenester med utgangspunkt i de nukleære fasilitetene ved IFE på sikt kan bidra til høyere verdiskapning for nasjonen.

En eventuell nedleggelse av JEEP II vil ramme FoU-aktivitetene som IFE tilbyr nasjonale brukere, noe som kan føre til tap av indirekte bruksverdi knyttet til langsiktig avkastning av FoU for Norge. Aktivitetene knyttet til Haldenreaktoren er av en annen karakter, og en eventuell nedleggelse av denne reaktoren vil trolig ikke føre til et tilsvarende tap av indirekte bruksverdi knyttet til langsiktig avkastning av FoU for Norge.

[24] Det finnes etter hvert en betydelig litteratur som tar for seg grunnforskningens betydning som kilde til nye produkter og prosesser i bedriftene, og det er en entydig trend i retning av at grunnforskning synes å bli viktigere som kilde for bedriftenes utvikling, se for eksempel Stephan (1996), Cockburn og Henderson (1998), Mansfield (1998), Griffith m. fl. (2000) og Hall (2001).

7 Kostnader ved nedleggelse

Det forventes at det vil bli en økende aktivitet med riving og dekommisjonering av atomreaktorer i de kommende årene. Trolig vil en tredjedel av de reaktorer og kjernetekniske anlegg som finnes i EU-området i dag komme til å bli avviklet fram til år 2025. Blant annet blir avviklingen av tre kjernekraftverk og to forskningsreaktorer gjennomført i Sverige i løpet av denne perioden.

I det følgende presenteres noen generelle betraktninger omkring dekommisjonering av forskningsreaktorer, samt erfaringer og vurderinger fra slikt arbeid i Sverige. Dernest følger estimerte dekommisjoneringskostnader til fullstendig "green field" for forskningsreaktorene i Halden og på Kjeller, kostnader uten fullstendig "green field" og kostnader ved et tenkt minimums-scenario.

7.1 Generelt om dekommisjonering – erfaringer fra Sverige

IAEA har utarbeidet anbefalinger for dekommisjonering av forskningsreaktorer og andre små nukleære anlegg.[25] IAEA anbefaler at en dekommisjonering bør gjennomføres i tre trinn:

Trinn 1 – lagring med overvåkning

Trinn 2 – begrenset bruk av anleggsområdet

Trinn 3 – ubegrenset bruk av anleggsområdet (ofte betegnet "green field")

Hvilken dekommisjoneringsstrategi som velges i praksis avhenger imidlertid av mange forhold. Omfanget og arten av radioaktivt avfall som genereres i en rivingsprosess må kartlegges, transport og lagring av avfallet må planlegges og fremtidige kostnader beregnes.

Den radioaktive strålingen vil avta med tiden, noe som sammen med lagringsproblemer, kan være et moment for å vente med en fullstendig dekommisjonering til "green field". Kostnadene for selve dekommisjoneringsarbeidet til "green field" vil imidlertid ofte ikke endre seg mye om tidspunktet for endelig avvikling forandres. Ved valg av tidspunkt og strategi for en dekommisjonering, er det tre kostnadselementer som må inngå i vurderingen. Disse tre elementene er årlige kostnader ved normal drift, årlige kostnader ved lagring og overvåking i en passiv periode (trinn 1 eller 2) og dekommisjoneringskostnadene.

Det er alminnelig enighet om at en dekommisjonering bør startes så raskt som mulig etter at en beslutning om avvikling er tatt. Dette er helt essensielt for å ivareta lokal og spesiell kompetanse som er viktig for dekommisjoneringsarbeidet. Ikke minst viser erfaringer ved reaktoravviklinger i Sverige at dette er en riktig strategi. Disse erfaringene vil være nyttige for planlegging av eventuelle dekommisjoneringer i Norge.

I Sverige er tidligere to reaktorer avviklet, en forskningsreaktor (R1) ved KTH i Stockholm og en kraftreaktor i Ågesta utenfor Stockholm. Miljøet i Studsvik fikk verdifull kompetanse innen metoder og teknikker ved avvikling av reaktorer fra nedleggingen av R1 og Ågesta. Studsvik tok hånd om alt avfallet fra R1, mens det for Ågesta ble valgt en løsning der reaktoren fortsatt ikke er revet. En generell konklusjon fra arbeid med R1 og Ågesta er nettopp at en avvikling bør startes så raskt som mulig, og dette er det tatt hensyn til ved dekommisjonering av forskningsreaktorene i Studsvik og reaktorene i Barsebäck. Planlegging

[25] IAEA Safety Guide no WS-G2-1, Techn Report no 373 and 351

startet raskt etter at beslutningene om avvikling ble tatt. På grunn av problemer med lagring av rivningsavfall for ett av tilfellene, er det imidlertid valgt forskjellig strategi: I Studsvik finnes det muligheter for lagring av rivningsavfallet og det brukte brenselet kan returneres til USA. For Barsebäck reaktorene har brenselet blitt tatt hånd om av CLAB[26], mens det er vanskeligheter med oppbevaring av rivningsavfallet, og den endelige rivningen av reaktorene er utsatt 10 år.

7.2 Kostnader ved en eventuell dekommisjonering av IFEs atomanlegg

I IFEs dekommisjoneringsplan for reaktorene i Halden og Kjeller er det gjort beregninger av flere alternativer. Ett alternativ er en dekommisjonering av alle anleggene til "green field". Et annet innebærer delvis riving, og dette kan bli aktuelt fordi riving av reaktorene og brensellagrene vil generere avfall som Norge i dag ikke har anlegg for å lagre. Valg av strategi vil derfor også her være avhengig av lagringsmulighetene.

Statens strålevern har formulert en rekke krav til en eventuell dekommisjonering av anleggene på Kjeller og i Halden.[27] IFE har oversendt en dekommisjoneringsplan til Statens strålevern med beregninger av kostnader og tid for avvikling av reaktorene med alle tilstøtende anlegg.[28] IFEs plan er utformet i overensstemmelse med Strålevernets og IAEAs anbefalinger (avsnitt 7.1) og ble godkjent av Strålevernet i februar 2008.[29]

Tabell 9 viser en oppsummering av kostnadene fordelt på de forskjellige anleggene som er underlagt IFEs konsesjon. Kostnadene er basert på at IFE selv gjennomfører dekommisjoneringen. Kostnadene inkluderer riving av alle anlegg og fullstendig riving og fjerning av alle bygninger (riving til "green field"). Videre drift av reaktorene i en ny konsesjonsperiode fra 1. januar 2009 vil etter IFEs mening bare gi marginale endringer i disse dekommisjoneringskostnadene.

[26] CLAD Sentralt mellanlager för använt kärnbrensle, Oskarshamn, Sverige

[27] Vurdering av dekommisjoneringsplan for Institutt for Energiteknikks nukleære anlegg, brev fra Statens strålevern av 27. oktober 2005.

[28] Dekommisjoneringsplan for Institutt for energiteknikks konsesjonsunderlagte nukleære anlegg - Overordnet plan, sendt Statens strålevern desember 2007.

[29] "Dekommisjoneringsplan for Institutt for energiteknikks konsesjonsunderlagte nukleære anlegg, brev fra Statens strålevern 15. februar 2008.

Tabell 9 Estimerte kostnader for dekommisjonering til "green field"

Alle kostnader i 1000 NOK (2007)	Lønns-kostnader	Direkte-kostnader	Sum	Beregnet rivningstid
Haldenreaktoren, inkludert brenselslagre og ny infrastruktur	561 000	352 000	913 000	~ 12 år
Brenselinstrument-verkstedet	700	-	700	< 1 år
Sum Halden	**561 700**	**352 000**	**913 700**	
JEEP II	44 500	25 500	70 000	~ 5 år
Met. lab I	90	15	105	< 1 år
Met. lab II, inkl. ny infrastruktur	94 000	48 000	142 000	< 11 år
Lager for ubestrålt brensel Kjeller	1 100	150	1 250	< 1 år
Lagre for bestrålt brensel Kjeller	38 300	11 200	49 500	~ 3 år
JEEP I stavbrønn	5 800	6 000	11 800	< 1 år
Radavfallsanlegget	14 000	4 500	18 500	~2 år
Transport Kjeller til KLDRA[30]	2 100	250	2 350	
Sum Kjeller	**199 890**	**95 615**	**295 505**	
TOTALE kostnader	**≈ 760 000**	**≈ 450 000**	**≈ 1 200 000**	

7.3 Kostnader uten fullstendig "green field"

IFE har i en tidligere dekommisjoneringsplan beregnet kostnadene uten fullstendig riving til "green field".[31] Enkelte anlegg vil etter denne planen ikke bli revet, men bli stående under myndighetens strålingskontroll. Bakgrunnen for dette alternativet er som nevnt at anleggene (spesielt reaktorene og brenselslagrene) vil generere rivingsavfall som Norge i dag ikke har anlegg for, dersom IFEs brenselslagre også dekommisjoneres. Følgende anlegg er her beregnet til "green field": Brenselinstrumentverkstedet, Metallurgisk laboratorium I og anlegg for behandling av radioaktivt avfall.

[30] Kostnader for klargjøring av transporter fra Kjeller til KLDRA I Himdalen av lavt- og middelsradioaktivt avfall. Tilsvarende kostnader for transport fra Halden er inkludert i tallene for Halden ovenfor.

[31] Sendt Statens strålevern i desember 2004

Tabell 10 Estimerte kostnader uten fullstendig "green field"

Kostnader i 1000 NOK (2004)*	Lønns-kostander	Direkte-kostnader	Sum	Beregnet rivingstid
Haldenreaktoren	290 000	50 000	340 000	~ 7 år
Brenselsinstrument-verkstedet	500	-	500	< 1 år
SUM Halden	**290 500**	**50 000**	**340 500**	
JEEP II	23 000	1 000	24 000	~ 2 År
Brenselslaboratoriene	34 000	11 000	45 000	~ 4 år
Anlegg for behandling av radioaktiv avfall	13 000	4 000	17 000	~ 2 år
SUM Kjeller	**70 000**	**16 000**	**86 000**	
TOTALT	**≈ 360 000**	**≈ 70 000**	**≈ 430 000**	

* Hovedvekten av kostnadene er lønnskostnader, og med utgangspunkt i en lønnsvekst på ca 4,3 % kan de totale kostnadene anslås til ca. 480 millioner kroner (i 2007 kroner).

Hvis situasjonen skulle bli slik at det ikke er etablert et tilfredsstilende lager for avfall etter at en delvis dekommisjonering som beskrevet i Tabell 10 er gjennomført, vil det påløpe kostnader til overvåking av anleggene, som ikke er beregnet her. Disse kostnadene vil bli bestemt av de krav myndigheten setter til IFE for nødvendig vedlikehold og sikkerhetsinstallasjoner etter bestemmelser bl.a. i stråleverns- og atomenergiloven. Kravene er ikke kjent pr i dag, og IFE kan derfor vanskelig gi et godt estimat for disse utgiftene på det nåværende tidspunkt.

Et tilnærmet anslag for Haldenreaktoren, basert på at det er nødvendig med 10-15 årsverk for å overvåke og vedlikeholde anleggene, og et budsjett for drifts- og vedlikeholdskostnader på 2-3 millioner kroner, vil gi en samlet kostnad pr. år på 12-18 millioner kroner. Det er da ikke tatt med utgifter til bevaring av kompetanse utover å sikre dokumentasjon i perioden fram til en endelig dekommisjonering til "green field" skal gjennomføres. Kostnadene ser ut til å bli omtrent de samme for JEEP II på Kjeller.

Kostnader for å bygge et eventuelt nytt lager er ikke med i kostnadsoverslagene ovenfor. Ulike tekniske løsninger for et nytt lager er imidlertid vurdert av et utvalg satt ned av Nærings- og handelsdepartementet i 2004.[32] Utvalgets kostnadsoverslag varierte fra 70 til 128 millioner kroner avhengig av hvordan det høyaktive avfallet og brenselet lagres og hvilke bygg som må anlegges. Total byggetid for anlegget ble anslått til 2-2,5 år.

[32] Etablering av nytt mellomlager for høyaktivt avfall, Rapport til NHD, 30. juni 2004

7.4 Kostnader ved et minimums-scenario

Det kan tenkes et scenario der reaktorene stenges og bare det absolutt nødvendige av sikkerhetstiltak blir gjort, før anleggene blir overlatt til overvåking. I praksis vil en slik alternativ nedstengning føre til at nødvendig kompetanse for senere dekommisjonering høyst sannsynlig vil forsvinne, noe som naturligvis er svært ugunstig.

Under forutsetning av at det er mulig å bevare den nukleære kompetansen i et minimums-scenario, vil et grovt anslag for både Haldenreaktoren og JEEP II gi en total overvåkingskostnad pr. år på 25-30 millioner kroner. Kostnadene gjenspeiler at det faktisk er nødvendig med flere årsverk for å overvåke, drifte og vedlikeholde anleggene i et minimums-scenario enn i alternativet beskrevet i avsnitt 7.3. Etter at det absolutt nødvendige er utført, det vil si å fjerne brensel fra reaktoren og drenere reaktortankene og andre systemer, vil behovet være 20-25 årsverk i Halden og tilsvarende på Kjeller for overvåking, drift og vedlikehold. Nødvendige støtteanlegg er da fortsatt i drift med minimumsbehandling, herunder anlegget for behandling av radioaktivt avfall. Årlige drifts- og vedlikeholdskostnader er antatt å være 5 millioner kroner både i Halden og på Kjeller.

8 Utvalgets vurderinger

I dette kapittelet vil det bli gitt en sammenstilling av de nyttegevinster og kostnadselementer som etter utvalgets vurdering er av vesentlig betydning for de to alternativene. For begge reaktorene vil en starte drøftingen i forhold til referansealternativet videre drift av reaktorene. Her vil en trekke frem de relevante kostnadene som samfunnet, i et nasjonalt perspektiv, vil bli påført. De samfunnsmessige kostnadene vil inkludere de kostnader som ikke er dekket inn gjennom betalingsvilligheten for forskningen i markedet, og er her først og fremst relatert til den offentlige finansieringen. I tillegg er det også forbundet kostnader relatert til ulykkesrisiko og lagring. Disse kostnadene vil bli sammenstilt mot de nytteelementer som kan komme samfunnet til gode ved at den delen av aktiviteten som er tilknyttet reaktorene videreføres. Deretter vil en vurdere nedleggelse av reaktorene som alternativ. I dette scenarioet antas det at aktiviteten tilknyttet selve reaktoren opphører, mens øvrig drift fortsetter. Her vil en drøfte de konsekvensene på nytte- og kostnadssiden som er relevante, gitt at reaktorene er stengt. Beslutningskriteriet vil således innebære at videre drift av reaktoren skal kunne forsvares dersom nyttegevinstene ved dette alternativet, fratrukket de nyttegevinstene som fremkommer ved en eventuell nedleggelse av reaktoren, overskrider differansen i samfunnets kostnader ved de to alternativene.

I kapittel 7 har vi gjennomgått kostnader ved dekommisjonering hvor området rundt reaktoren utvikles til ”green field”. I tillegg er kostnaden for en delvis dekommisjonering uten fullstendig riving til ”green field” med nødvendig overvåking og vedlikehold frem til tidspunkt for dekommisjonering belyst. I utvalgets kostnadsanalyse ved alternativet nedleggelse av reaktorene er det valgt et minimums-scenario hvor bare det absolutt nødvendige av sikkerhetstiltak blir gjort før anleggene blir overlatt til overvåking. Kostnader som relateres til selve dekommisjoneringen skal ikke inkluderes i denne analysen. Dersom man skulle inkludert disse kostnadene, måtte man også samtidig tatt inn i analysen de nyttegevinster som en dekommisjonering ville gitt. Dette vil være nyttegevinster som først og fremst er relevante i forhold til dem som er bosatt i nærheten av reaktoren. Eksempler på slike nyttegevinster kunne for eksempel være økt bokvalitet, målt gjennom endring i boligpriser ved fravær av reaktoren, mindre psykisk ubehag uten reaktor, etc. Dersom en tenker seg et scenario, der kostnadene ved dekommisjonering er uforholdsmessig høye i forhold til nytten som fremkommer ved at reaktoren er borte, ville en kunne konkludere med at det alltid ville være samfunnsøkonomisk lønnsomt å utsette en eventuell nedlegging av den nukleære virksomheten.

Fra kapittel 6 hentes konklusjonene som er relatert til nyttetap ved nedleggelse av reaktorene. Diskusjonen der baserer seg på en tredeling av nyttebegrepet: beredskapsverdi, opsjonsverdi og bruksverdi. Denne tredelingen er videreført i dette kapittel.

Det er tidligere argumentert for at samspillseffektene mellom Halden og Kjeller er beskjedne, jf. avsnitt 5.3. Fra Kjeller-miljøet er det uttalt at en nedlegging av Haldenreaktoren ikke vil ha noen direkte konsekvenser i forhold til aktiviteten på Kjeller. For miljøet ved Halden derimot vil en nedlegging av reaktoren ved Kjeller få konsekvenser i og med at denne i dag benyttes til en visse grad i forbindelse med prøvebrenselsproduksjon, etterundersøkelser av bestrålt brensel og materiale, samt reinstrumentering av bestrålt brensel fra kjernekraftverk som skal testes. Imidlertid er dette oppgaver som IFE Halden i prinsippet kan få utført andre steder, uten at dette vil få store kostnadsmessige konsekvenser. Dette innebærer at en partiell analyse vil være tilstrekkelig under drøftingen av gevinster og kostnader ved de to anleggene. Fremstillingen av konsekvensene ved stenging av reaktorene ved henholdsvis Kjeller og Halden er derfor behandlet separat.

8.1 Haldenreaktoren

8.1.1 Videre drift som alternativ

Aktiviteten ved IFE Halden er delt inn i to hovedaktiviteter: Fellesprogrammet og bilaterale avtaler. Omsetningen ved disse to aktivitetene var i 2006 på om lag 228 millioner, der 110 millioner ble finansiert av Fellesprogrammet, mens 118 millioner av omsetningen var hentet gjennom bilaterale avtaler. Av de 228 millionene var omtrent 143 millioner relatert til NuSP (nukleær, sikkerhet og pålitelighet). Det offentlige bidraget var i 2006 på 38 millioner kroner. Dette bidraget er i sin helhet øremerket Fellesprogrammet. Resten av finansieringen av Fellesprogrammet kommer inn gjennom betalingsvillighet i markedet via private og offentlige aktører. For Fellesprogrammet, som er i regi av OECD, er 63 prosent av finansieringen utenlandsk, noe som er en forholdsvis høy andel når det gjelder OECD prosjekter. Det offentlige øremerkede bidraget kan i denne sammenheng sees på som den delen av finansieringen som må til for at dagens aktivitetsnivå skal kunne opprettholdes, og representerer ressurskostnaden for samfunnet ved alternativet videre drift av reaktoren.

I tillegg til de offentlige finansielle kostnadene ligger det og en kostnad for det norske samfunnet i form av en risiko for en eventuell ulykke av driften av reaktoren, samt en kostnad forbundet med lagring av radioaktivt avfall. Når det gjelder ulykkesrisikoen ved Haldenreaktoren, er det lagt til grunn at dette er en forskningsreaktor med beskjeden effekt sammenliknet med kommersielle kjernekraftverk. Reaktorene inneholder ikke tilstrekkelig med radioaktivt materiale til at det er nødvendig med omfattende tiltak for å redusere helseeffekter under en alvorlig ulykke, selv med en utett inneslutning. En alvorlig ulykke der det er totalt tap av kjølevann og utett reaktorinnslutning, er analysert og viser at konsekvensene av en slik ulykke er innenfor de anbefalinger som IAEA setter for forskningsreaktorer. De sikkerhetsmessige vernetiltak som er pålagt reaktorene innebærer at sannsynligheten for en ulykke er svært liten. Det forhold at sannsynligheten for en alvorlig ulykke er liten, sammen med det faktum at konsekvensene ved et worst-case scenario vil være beskjedne, impliserer at den forventede kostnaden ved ulykkesrisiko er liten. Når det gjelder kostnadene ved lagring, må dette sees i sammenheng med de eksisterende lagrene for radioaktivt avfall som eksisterer i dag. Mengden av bestrålt brensel på lager i Halden er nå 10 385 kg og den årlige tilveksten er på ca. 60 kg. I henhold til NOU (2001) er dagens lagerkapasitet ved Halden og Kjeller tilstrekkelig frem til ca. 2016. Dette innebærer at for den neste 10 års periode er det kun ekstrakostnadene som tilskrives ved at det blir lagret 600 kg ekstra som skal tilføres kostnadssiden. Det anslås at denne kostnaden er beskjeden for de neste 10 årene, mens i et 20 års perspektiv kan mengden avfall utløse behov for å utvide lagringsplassen. Det finnes imidlertid ulike konsept for komprimering av avfall, blant annet brukt i Sverige, slik at eventuell tilførsel av høyaktivt avfall fra Haldenreaktoren kan lagres uten investeringer av betydning også i en konsesjonsperiode fra 2019-2028.

De samlede kostnadene ved videre drift på dagens nivå anslås til å ligge i størrelsesorden 40 millioner kroner årlig for neste konsesjonsperiode. I all hovedsak er det de offentlig øremerkede midlene som utgjør kostnadssiden i dette anslaget.

Til denne kostnaden har Norge tilgjengelig en forskningsreaktor, som bidrar til å opprettholde en internasjonal forskerkompetanse innenfor nukleærteknologi. Utover den offentlige finansieringen, genererer aktiviteten ved IFE Halden en omsetning i størrelsesorden 190 millioner gjennom oppdrag fra private aktører og utenlandske offentlige myndigheter. I og med at offentlig og private aktører er villig til å betale for disse forskningstjenestene er det grunn til å anta at denne forskningen genererer en merverdi for disse aktørene som minst er

like stor som det de faktisk betaler for tjenestene. Denne merverdien er i prinsippet en del av nyttegevinstene ved videre drift.

Dagens MTO-miljø nyter godt av det komparative fortrinnet som ligger i koblingen mellom MTO-aktiviteten og den virksomheten som spinner direkte ut fra reaktoren. Flere MTO-prosjekter ved Halden har også kommet som følge av reaktorforskningen, og i følge OECD er det koblingen mellom MTO og reaktorvirksomheten som gir Halden-miljøet en profilering som er av interesse internasjonalt. Komplementariteten i forhold til reaktordrift gir i så måte nyttegevinster for Norge.

Norske myndigheter deltar i internasjonale fora hvor rådgivning på atomsikkerhet er viktig. Gjennom reaktorvirksomheten i Halden får norske myndigheter tilgang til internasjonalt anerkjent ekspertise på sikkerhetsaspekter ved kjernekraft, og derved nødvendig troverdighet i internasjonale organer og internasjonalt samarbeid hvor atomsikkerhet står på agendaen. Den betalingsvillighet som norske myndigheter har for en slik kompetanse vil i denne sammenheng inngå som en av nyttegevinstene ved videre drift av reaktoren i Halden.

En annen nyttegevinst ved videre drift av Haldenreaktoren er knyttet til beredskapsverdien som ligger i å ha nukleær forskningskompetanse i Norge. Dette er spesielt relevant i forhold til beredskap relatert til mulige fremtidige atomulykker, og til sikring av nærområdene. IFE Halden er en av de faglige rådgiverne til Kriseutvalget, og bidrar der med reaktorteknologisk kompetanse. I en krisesituasjon, hvor det står om tid, vil IFE Halden kunne ha en viktig rolle innen analyse av scenarioer og prognoser for ulykkesutvikling. I vår sammenheng er det tilgjengeligheten av denne type kompetanse som er med og danner grunnlaget for en beredskapsverdi som kan være relevant for Norge. I forhold til atomhandlingsplanen og sikring av nærområdene har IFE Halden hatt en sentral rolle, og vil fremdeles kunne bidra med løsninger av aktuelle sikkerhetsoppgaver. Rent forskningsstrategisk ligger det også en beredskapsverdi i det å ha tilgang til et forskningsmiljø som fungerer som kostnadseffektiv forskningsinfrastruktur for norske bedrifter.

Forskning handler i stor grad om å skape muligheter. Et lite land som Norge kan imidlertid ikke ha mål om å dyrke frem verdensledende forskningsmiljøer innenfor alle fagfelt. Ressursene må derfor kanaliseres mot å holde mulighetene åpne (beholde opsjonene) innenfor de fagretninger en har gode forutsetninger for å lykkes i og/eller der en forventer omfattende fremtidige behov.

Realopsjonsverdier knytter seg til forhold som endrer seg over tid. Når det gjelder den nukleære forskningen ved IFE, handler det om verdien av å ha den kompetanse som bare kan sikres ved fortsatt reaktordrift. Dette gjelder muligheten for kommersiell kjernekraftutvikling i Norge spesielt og for mer klimavennlig energiproduksjon generelt.

Kjernekraft er en av flere mulige løsninger på klimautfordringene. Selv om kjernekraft ikke er fornybar, tilfredsstiller den kravene om null CO_2-utslipp. Etter en periode nærmest uten internasjonal utbygging av kjernekraftverk, etter Tsjernobyl-ulykken i 1986, er det nå mange land som bygger eller planlegger å bygge nye atomreaktorer, jf. fremstillingen i kapittel 3. Ny og sikrere reaktorteknologi samt en stadig økende etterspørsel etter CO_2-fri energi, kan med tiden føre til politisk aksept for nødvendigheten av å utvikle og bygge atomkraftverk også i Norge. En vesentlig opsjonsverdi ved fortsatt reaktordrift i Norge kan derfor ligge i muligheten for at man i fremtiden kan finne det ønskelig å starte kommersiell atomkraftproduksjon i Norge. I så tilfelle vil det være viktig å ha lokal kompetanse som kan legge til rette for en slik utbygging.

I den senere tid er også thorium blitt vurdert nærmere som brensel til framtidige reaktorer, en mulighet spesielt India forsker på. Mulighetene vurderes også i Norge. Man vil for foreslåtte reaktortyper, der en tenker å benytte thorium som brensel, kunne teste brenselet i Haldenreaktoren. Allerede på 60-tallet ble det testet brenselselementer av thorium i Haldenreaktoren. Thoriumutvaget anbefaler i denne sammenhengen blant annet at:

> "*…the thorium option be kept open in so far it represents an interesting complement to the uranium option to strengthen the sustainability of nuclear energy.*"

Det konkluderes også i rapporten at:

> "*Testing of thorium fuel in the Halden Reactor should be encouraged, taking benefit of the well recognized nuclear fuel competence in Halden.*"

8.1.2 Nedleggelse av reaktoren ved Halden som alternativ

Ved en eventuell nedleggelse vil det være behov for håndtering av reaktoren på en slik måte at sikkerhetsnivået opprettholdes. Kostnaden ved en slik håndtering vil først og fremst være knyttet til overvåkning av det radioaktive brenselet og vedlikehold av reaktoren. Etter at det absolutt nødvendige er utført, det vil si å fjerne brensel fra reaktoren og drenere reaktortankene og andre systemer, vil det være behov for 20-25 årsverk i Halden for overvåking, drift og vedlikehold. De årlige kostnadene er anslått til å være i størrelsesorden 25-30 millioner årlig.

Etter nedleggelse av reaktoren vil den gjenværende driften ved Halden være rettet mot MTO-området. Denne aktiviteten vil fremdeles ha verdi for norske bedrifter, og vil gi nyttegevinster hos disse bedriftene. Det er imidlertid uklart om MTO-miljøet ved Halden vil fremstå som like sterkt etter at reaktoren er stengt. Mangelen på komplementaritet i forhold til Haldenreaktoren kan bidra til at miljøets absorpsjonsevne svekkes dersom reaktoren legges ned. MTO-miljøet ved Halden uten reaktoren vil kunne resultere i at MTO-miljøet inntar en posisjon som internasjonalt er i konkurranse med mange andre lignende miljøer.

En annen gevinstkomponent ved en eventuell nedleggelse av Haldenreaktoren relaterer seg til reduksjon av ulykkesrisiko. Ved en stenging av Haldenreaktoren vil faren for en nedsmelting elimineres. Dette vil gi seg utslag i en nyttegevinst for samfunnet i form av fravær av ulykkesrisiko. Hvor stor nytteverdi en slik eliminering av ulykkesrisiko har for det norske samfunnet er ikke anslått i denne rapporten. Det kan imidlertid være grunn til å understreke at reaktorene ved normaldrift har relativt liten mulighet for utslipp til omgivelsene sammenliknet med kjernekraftverk, og sannsynligheten for at en slik større ulykke skal skje er meget liten. Reaktorene inneholder ikke tilstrekkelig med radioaktivt materiale til at det er nødvendig med spesielle tiltak for å redusere helseeffekter under en alvorlig ulykke selv med en utett inneslutning. På dette grunnlag anslår utvalget at denne gevinsten ved en eventuell nedlegging er forholdsvis beskjeden.

8.1.3 Oppsummering Haldenreaktoren

For Haldenreaktoren konkluderes det med at den samfunnsmessige kostnaden ved videre drift først og fremst er relatert til den offentlige finansieringen som er i underkant av 40 millioner kroner årlig. Kostnadene ved ulykkesrisiko og lagring av brensel er lave. For dette beløpet vil en ved videre drift av reaktoren oppnå nyttegevinster relatert til følgende områder:

- *Atomulykkesberedskap* er en av de viktigste nyttegevinstene av Haldenreaktoren knyttet til myndighetenes beredskapsverdi

- *Bidrag til sikring av nærområdene* er en annen viktig nyttegevinst av Halden-miljøets operative reaktorkompetanse
- *Sikkerhet for atomkraftverk i OECD-området* er et internasjonalt kollektivt gode og en nyttegevinst som Haldenprosjektet bidrar til å utvikle
- *Bevaring av kompetanse* for å ivareta fremtidige valgmuligheter til potensielle klimavennlige energikilder er også en viktig nyttegevinst ved videre drift av Haldenreaktoren

Ved alternativet nedleggelse av reaktoren er den samfunnsmessige kostnaden i størrelsesorden 25-30 millioner kroner. Ved dette alternativet vil nyttegevinstene først og fremst være knyttet opp mot den delen av MTO-aktiviteten som kan bli videreført uavhengig av reaktordrift. I forbindelse med videreføring av MTO er det imidlertid knyttet usikkerhet til i hvilken grad en klarer å opprettholde aktiviteten når reaktoren er stengt.

En sammenligning mellom de to alternativene indikerer således en merkostnad på 10-15 millioner kroner for referansealternativet, sammenlignet med alternativet nedleggelse av reaktoren. Det er opp mot denne kostnaden at nyttegevinstene i kulepunktene over må vurderes.

8.2 Kjellerreaktoren

8.2.1 Videre drift som referansealternativ

Virksomheten på Kjeller hadde i 2006 en omsetning på 306 millioner kroner, hvorav om lag 160 millioner kroner er finansiering av den nukleære delen av virksomheten. Av dette kom 91 millioner kroner fra norske oppdragsgivere og 9 millioner kroner fra oppdragsgivere fra andre land. Den resterende finansieringen på om lag 60 millioner kroner kommer fra det offentlige, enten som prosjektmidler fra Norges forskningsråd eller som øremerkede midler fra departementet. De øremerkede tilskuddene var i 2006 i underkant av 40 millioner kroner, et beløp som har vært uendret de senere årene. Tilsvarende som i vurderingen av Haldenreaktoren er det kun de øremerkede midlene som vil inngå som en del av kostnaden ved videre drift. De øvrige offentlige midlene som kommer gjennom prosjektmidler tildeles etter en søknadskonkurranse med andre institusjoner, og kan vurderes på lik linje med betalingsvilligheten for forskning i et konkurransemarked.

Tilsvarende som for Halden vil det være kostnader knyttet til ulykkesrisiko og lagring av brensel. Når det gjelder ulykkesrisikoen ved Kjellerreaktoren er det også her lagt til grunn at dette er en liten forskningsreaktor, med liten effekt. Konsekvenser ved en alvorlig ulykke er analysert, og viser at omfanget ville vært i mindre skala ved Kjeller, sammenlignet med Halden. Den lave sannsynligheten for en alvorlig ulykke, sammen med det faktum at konsekvensene ved et ”worst-case” scenario vil være beskjedne, impliserer at de forventede kostnadene ved ulykkesrisiko på Kjeller må kunne betraktes som lave. Lageret på Kjeller innholder i dag 6 074 kg bestrålt brensel. Den årlige tilveksten av bestrålt brensel er ca. 15 kg på Kjeller. Kostnadene som er forbundet med å tilføre 150 kg ekstra brensel på lageret for de neste 10 årene ansees som beskjedne, da denne mengden er så liten at det ikke får konsekvenser for kapasiteten ved lageret.

Kostnadselementene samlet utgjør om lag 40 millioner kroner årlig, som er de relevante kostnadene nyttegevinstene skal vurderes mot.

I dag er IFE en del av beredskapsorganisasjonen ved atomulykker. Aktiviteten ved IFE Kjeller er i denne sammenheng først og fremst knyttet til operativ strålekompetanse, samt

innenfor felt- og laboratoriemålinger. Gjennom Statens strålevern er det uttrykt positiv betalingsvilje for denne kompetansen.

Sammenlignet med Halden bærer aktiviteten ved IFE Kjeller mer preg av en orientering mot grunnforskning. IFE-miljøet driver forskningsaktivitet på flere områder som er relevante innenfor de nasjonale forskningsprioriteringene, i første rekke energi og miljø, men også helse. Nøytroner fra JEEP II gir blant annet Fysikkavdelingen på Kjeller mulighet til å drive grunnforskning på nye materialer for hydrogenlagring og nanoteknologi, og JEEP II ansees av Forskningsrådet for å være viktig for den nasjonale forskningen på dette feltet. Videre er Fysikkavdelingen ved IFE i dag med i alle EUs programmer på nye materialer for hydrogenlagring. Nytteverdien av IFE Kjeller må sees i sammenheng med den strategiske verdien som ligge i å ha denne type forskning. Det faktum at dette er forskningsområder som er høyt prioritert i den nasjonale forskningsstrategien antyder at denne nytteverdien er betydelig.

Det å ha et forskningsmiljø knyttet til forskningsreaktoren JEEP II, med de muligheter som potensielt ligger i ny kunnskap innen nano- og materialvitenskap, er og en nyttegevinst som danner grunnlaget for utvikling av teknologi for kostnadseffektiv anvendelse av hydrogen som energibærer.

Forskningen kan også gi nyttegevinster i form av samspillseffekter med andre institusjoner. Intervjuer med andre forskningsmiljø indikerer at forskningen er særlig knyttet til UiO og i noen grad til NTNU og UiB. IFE har stor betydning både for dr. grads- og masterutdanning, og det er omfattende samarbeid om publisering. Det legges stor og til dels avgjørende vekt på reaktorens betydning for utdanning og forskning, og selv om den har noe liten intensitet for noen formål, mener flere at ”dens betydning som hjemmelaboratorium ikke kan erstattes”. Intervjuene avdekker en bred enighet om at det er høy kvalitet på staben ved Kjeller og at samarbeidet med IFE har meget stor betydning for egen forskning ved universitetet.

Internasjonalt er også forskningsmiljøet ved Kjeller på et høyt internasjonalt nivå, med høy deltakelse i internasjonale fora, med omfattende internasjonal publisering, og med internasjonale nettverk. Deltakelsen på denne internasjonale forskningsarenaen innebærer at dette miljøet trekker hjem ny kunnskap. Denne kunnskapsarenaen kan være med på å skape økt verdiskapning gjennom økt produktivitet i bedriftene på lengre sikt. I og med at forskningsinnholdet langt på vei er preget av grunnforskning, vurderes en stor del av aktiviteten på Kjeller å kunne ha eksterne virkninger som er en viktig motivasjon for at det offentlige bidrar til å finansiere forskningsaktivitet.

Deler av den nukleære virksomheten ved Kjeller angår utvikling av ny klimavennlig energiteknologi, først og fremst grunnforskningen på nye materialer for hydrogenlagring – der fysikkmiljøet publiserer på den internasjonale forskningsfronten. Gitt klimatrusselen, har forskning som kan bidra til å redusere eller erstatte bruken av fossile bredsler i et globalt omfang, verdi for det internasjonale fellesskapet.

8.2.2 Nedleggelse av reaktoren ved Kjeller som alternativ

Gevinstene ved en eventuell nedleggelse er svært lik det som er skissert for Halden. Det er også her stipulert et behov på om lag 20-25 årsverk ved Kjeller for overvåking, drift og vedlikehold av JEEP II. De årlige kostnadene er anslått til å være i størrelsesorden 25-30 millioner, der 5 millioner kroner av dette beløpet går til vedlikehold og det øvrige er lønnskostnader.

Når det gjelder kostnadsgevinsten i form av redusert ulykkesrisiko, samt begrensningen i behovet for lagringskapasitet av radioaktivt brensel, er det anslått at disse gevinstene er mindre enn ved Halden. Reaktoren ved Kjeller har langt lavere effekt, noe som innebærer at konsekvensene ved en eventuell ulykke er enda mindre enn hva tilfellet er for Halden. Mengden radioaktivt avfall fra Kjeller er og langt mindre enn det som kommer fra Halden og for de neste 10 årene vil dette ikke føre til kapasitetsproblemer ved lagrene, og dermed ikke representere noen stor merkostnad.

Ved en nedleggelse av JEEP II vil tilgangen til nøytroner forsvinne. For den delen av aktiviteten som benytter seg av reaktoren i dag vil konsekvensene enten være at en må kjøpe forskningsplass i andre reaktorer utenlands eller at forskningen legges ned. Mindre tilgjengelighet til nøytronstråler som følge av avstandsbarrierer og lang ventetid kan bidra til å redusere konkurranseevnen for dette miljøet.

8.2.3 Oppsummering Kjellerreaktoren

For JEEP II reaktoren ved Kjeller er de samfunnsmessige kostnadene i all hovedsak relatert til den offentlige finansieringen, som er i underkant av 40 millioner kroner årlig. Kostnadene ved ulykkesrisiko og lagring er forholdsvis små. For dette beløpet frembringes det en rekke nyttegevinster relatert til følgende områder:

- *Nasjonalt sett høyt prioriterte forskningsområder* som nanoteknologi, hydrogenlagring, nukleærmedisin og tracerteknologi er grunnforskning relatert til JEEP II med stor betydning for samarbeid med UoH-sektoren
- *Bevaring av forskningskompetansen* rundt Kjellerreaktoren kan være en viktig kilde til å ivareta de fremtidige valgmulighetene av alternative energikilder som på lang sikt blir viktig i klimapolitikken
- *Internasjonalt forskningssamarbeid* er en viktig aktivitet rundt forskningsreaktoren JEEP II for å opprettholde Norges posisjon på forskningsfronten innenfor materialvitenskap

Ved alternativet nedleggelse av reaktoren er den samfunnsmessige kostnaden i størrelsesorden 25-30 millioner kroner. Ved dette alternativet vil nyttegevinstene først og fremst være knyttet opp mot den delen av aktiviteten som er uavhengig av reaktoren. For forskning der reaktoren er sentral vil en nedleggelse kunne føre til at konkurranseevnen til dette miljøet blir svekket som en følge av mindre tilgjengelighet på nøytroner.

En sammenligning mellom de to alternativene indikerer således en merkostnad på 10-15 millioner kroner for referansealternativet, sammenlignet med alternativet nedleggelse av reaktoren. Det er opp mot denne kostnaden at nyttegevinstene i kulepunktene over må vurderes.

Referanser

Arrow, K.J. og A.C. Fisher (1974). *Environmental preservation, uncertainty and irreversibility*. Quarterly Journal of Economics, 88 (1), 312-319.

Cockburn, I. M. og Henderson, R. M. (1998). *Absorptive Capacity, Coauthoring Behavior and the Organization of Research in Drug Discovery*. Journal of Industrial Economics, vol.46, 1998, s. 157-182.

Dixit, R.K og R.S. Pindyck (1994). *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press, New Jersey.

Griffith, R., Redding, S. og van Reenen, J. (2000). *Mapping the Two faces of R&D: Productivity Growth in a Panel of OECD Industries*. CEPR Discussion Paper No. 2457.

Hall, B. og van Reenen, J. (2000). *How effective are fiscal incentives for R & D? A review of the evidence*. Research Policy, vol. 29, 4-5/2000, s. 449–470.

Harg, K. *et al.* (2000). *Evaluation of the OECD Halden Reactor Project and the Institute for Energy Technology Halden activities*. Rapport til Norges forskningsråd fra evaluerings-komiteen, desember 2000.

Hervik, A. og M. Rye (2000). *Customer Inquiry: Institute for Energy Technology (IFE) – Halden*. Rapport til Norges forskningsråd, desember 2000.

Kara, M. (2008). *Thorium as an Energy Source - Opportunities for Norway*. Rapport til Norges forskningsråd på oppdrag fra Olje- og energidepartementet, februar 2008.

Mansfield, E. (1998). *Academic research and industrial innovations: An update of empirical findings*. Research Policy, vol. 26, 1998, s 773-776.

Norges Forskningsråd (2006). *Nasjonal strategi for nanovitenskap og nanoteknologi*. November 2006, Oslo.

NOU 2001:30. Vurdering *av strategier for sluttlagring av høyaktivt reaktorbrensel*. Nærings- og handelsdepartementet, desember 2001, Oslo.

Nærings- og handelsdepartementet (2004). *Etablering av nytt mellomlager for høyaktivt avfall*, Utredning gjennomført av Fase 1 – utvalget i perioden januar – juni 2004 på oppdrag fra Nærings- og handelsdepartementet, juni 2004, Oslo.

Olje- og energidepartementet (2008). *Energi21 – en samlende FoU-strategi for energisektoren*. Sluttrapport. Oslo.

Presterud, P. *et al*. (2005). *Konsekvenser av nedleggelse av Haldenreaktoren*. Rapport til Nærings- og handelsdepartementet, juni 2005.

Stephan, P. E. (1996): *The Economics of Science*. Journal of Economic Literature, vol XXXIV, 1996, s. 1199-1235.

Utenriksdepartementet (2005), *Atomsikkerhet i Nordvest-Russland*, april 2005, Oslo.

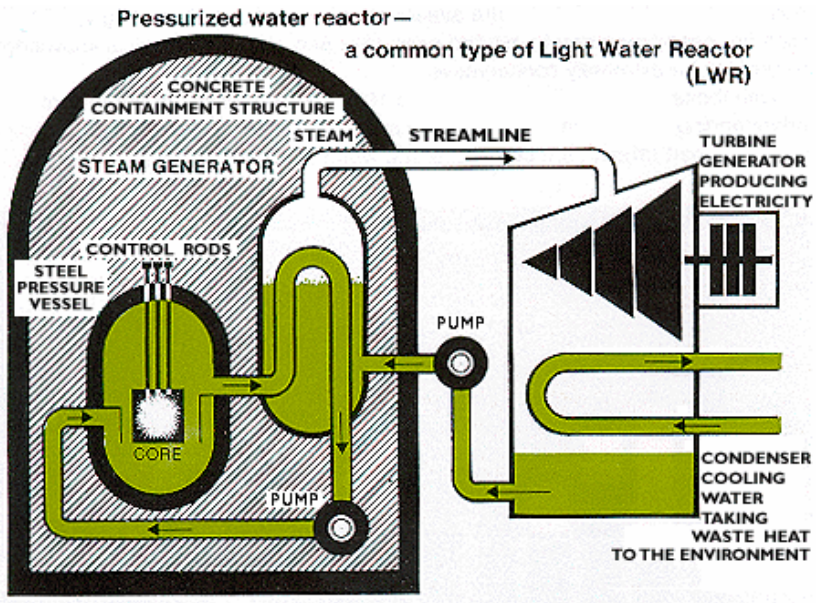
Appendiks om atomreaktorer

A.1 Generelt om teknologien

Atomreaktorene benytter seg av den energien som frigjøres når en atomkjerne (i praksis uran eller plutonium) deler seg – fisjonerer - når den blir utsatt for bombardement av nøytroner og et nøytron blir fanget opp av atomkjernen (neutron capture). Et atomkraftverk er innrettet slik at atomkjerner fisjonerer i stor skala. Reaktorene er i praksis basert på en relativt sjelden isotop av uran (U^{235}). Når denne atomkjernen fisjonerer, produseres det nye nøytroner som kan treffe en annen U^{235} kjerne og indusere en ny fisjon, som igjen kan føre til nye fisjoner i en kjedereaksjon. Sannsynligheten for at de nøytronene som produseres ved fisjonene blir fanget opp av en ny atomkjerne er avhengig av den energien nøytronene har, og for U235 er det slik at sannsynligheten er størst for nøytroner med relativt lav energi, en energi som er vesentlig mindre enn den energien nøytronene har i utgangspunktet etter fisjonen. For å få kjedereaksjonen til å gå, er det derfor nødvendig å redusere energien før nøytronene treffer et nytt atom. Dette gjøres ved hjelp av en moderator, ofte vann, men også tungtvann eller grafitt kan brukes.

En reaktor vil derfor bestå av ***brensel*** (f.eks. uranoksyd som inneholder U^{235}), en ***moderator***, en ***indre krets*** med et medium som kjøler brenselet og frakter varmen til en ***varmeveksler*** knyttet til en ***ytre krets*** som bringer energien videre. I en atomkraftreaktor vil dette oftest være vann som forvandles til damp, som leveres videre till en ***turbin*** knyttet til en ***generator***. I en forskningsreaktor, som ofte har mindre effekt, og ikke primært brukes til kraftproduksjon, vil den ytre kretsen for eksempel kunne knyttes til et lokalt fjernvarmesystem. Hele reaktoren omsluttes av en tank. Figur A.1 viser skjematisk hvordan en av de mest vanlige reaktortypene er bygget opp.

Figur A.1 Skjematisk fremstilling av en PWR (Pressurised Water Reactor)



Brenselet er her plassert i staver omsluttet av vann, som både fungerer som moderator og medium i den indre kretsen.

Produksjon og behandling av brensel til atomreaktorer er en viktig del av atomkraft teknologien og sikkerhetsproblematikken.. Uran er et relativt svakt radioaktivt metall som finnes i små mengder i mange bergarter over hele jorden. Det finnes mange områder der konsentrasjonen er til strekkelig stor til at uran kan utvinnes. Malmen raffineres til uranoksid (UO_2), som kan brukes direkte som reaktor brensel i noen reaktor typer. Men for de fleste reaktorer er det nødvendig med anriking, noe som krever kjemiske prosesser der det produseres uranheksafluorid (UF_6), en gas der de to isotopene U^{235} og U^{238} kan separeres gjennom diffusjons eller sentrifugering, slik at konsentrasjonen av U^{235} økes i sluttproduktet, som blir et anriket uranoksid. Brukt brensel er et produkt med mye U^{238}, men også noe U^{235} som ikke har fisjonert, sammen med plutonium andre radioaktive isotoper som blir produsert i reaktoren. (Plutonium kan separeres ut fra brukt brensel og konsentreres til materiale for atomvåpen.)

Brukt brensel tas hånd om i reproduseringsanlegg som produserer nytt brensel (resirkulert uran og plutonium) og radioaktivt avfall som krever spesiell behandling. Plutonium (Pu^{239}) kan i likhet med U^{233} fusjonere, og det utskilte uranet og plutoniumet kan derfor videreforedles til resirkulert brensel for reaktorer. Produksjonen av resirkulert brensel bidrar til en vesentlig reduksjon av avfallet. Det resirkulerte brenselet kan være blandinger av uran- og plutoniumoksid (MOX fuel). Det kan også konstrueres reaktorer (Breeder reaktorer) der det produserte plutonium (Pu^{239}) i likhet med U^{235} fusjonerer. I spesielt konstruerte reaktorer kan også metallet thorium benyttes til brensel.

A.2 Reaktortyper

Det finnes en lang rekke forskjellige reaktorkonstruksjoner, alt etter hvilket brensel, moderator og kjølesystem som brukes. Tabell A.1 viser de mest vanlige av de ca 440 kraftproduserende reaktorer som er i drift (2007).

Tabell A.1 Kraftproduserende reaktorer – type og utbredelse. (Generasjon I–II)

Type	Antall	Effekt (GWe)	Brensel	Kjøling	Moderator
PWR. Pressurised Water Reactor	264	250.5	anriket UO_2	vann	vann
BWR: Boiling Water reactor	94	86.4	anriket UO_2	vann	vann
PHWR: Pressurised Heavy Water Reactor	43	23.6	naturlig UO_2	tungtvann	tungtvann
AGR & Magnox: Gas-cooled Reactor	18	10.8	naturlig U (metall)	CO_2	grafitt
SUM	**419**				

Kilde: Briefing paper no. 64, UIC: Australien Uranium Association, mai 2007.

Trykkvannsreaktoreren (PWR). Den ”klassiske” trykkvannsreaktoren (pressurized water reactor) er den vanligste reaktortypen. Omtrent halvparten av alle reaktorer brukt innen kommersiell kjernekraft er av denne typen. Dette er en reaktortype som både kjøles og modereres av vann, og har tre separerte kjølekretser. I denne type reaktor blir energien fra kjernereaksjonen brukt til å varme opp vann i et lukket kretsløp (primærkretsen). Denne varmen avgis til et annet vannkretsløp (sekundærkretsen) hvor vann omdannes til damp. Dampen driver en turbin koblet til en generator (som på et vannkraftverk) hvor elektrisitet blir produsert. Etter å ha passert turbinen må dampen avkjøles og kondenseres til vann igjen ved hjelp av oppvarmning av kjølevann fra en vann/elv eller ved fordampning i store kjøletårn.

Kokvannsreaktoren (BWR). Den ”klassiske” kokvannsreaktoren (boiling water reactor) (BWR)) har også svært stor utbredelse på verdensbasis. Også denne reaktoren blir både kjølt

og moderert av vann, og har to separate kjølekretser. Slik navnet indikerer, er denne reaktortypen ”kokende” ved at vannet i reaktorens primære kjølekrets fordamper og ledes til turbinene (for elektrisitetsproduksjon) før den kondenserer og ledes tilbake til reaktortanken. Vannet i den sekundære kjølekretsen (som brukes til å kondensere vannet i primær kjølekrets) tas som regel fra en vannkilde i nærheten av kraftverket og kjølingen skjer gjennom oppvarmning av vannet eller fordampning i store kjøletårn.

Tungtvannsreaktor (PHWR eller CANDU). Candu reaktorene har blitt utviklet siden 1950 årene i Canada. Brenselet er her naturlig og ikke anriket uran, noe som gjør at det er nødvendig med en mer effektiv moderator, i dette tilfellet tungtvann. Tungtvannet kjøler brenselsstavene under høyt trykk og temperatur i en stor tank (en calendria). Tungtvannet varmer så en sekundærkrets med vanlig vann der det genereres damp som driver turbiner som er koblet til en generator, på samme måte som i en PWR.

Gasskjølte reaktorer (GCR/AGR). Gasskjølte reaktorer er en typisk britisk reaktortype, og deles primært i to underkategorier: ”gasskjølte reaktorer” (gas cooled reactors (GCR)) og den noe nyere typen ”avanserte gasskjølte reaktorer” (advanced gascooled reactors” (AGR)). En viktig forskjell mellom disse er at GCR bruker metallisk uran som brensel, mens AGR bruker uranoksid som brensel. Kjølemediet i begge disse reaktorene er CO_2-gass, som gjennom en varmeveksler varmer opp vann for å drive dampturbinene. Effektmessig er spesielt GCR-reaktorene gjennomgående mindre enn andre kjernekraftreaktorer.

Noen andre reaktorbetegnelser:

ABWR (Advanced Boiling Water Reactor) Denne reaktoren er en utvikling av BWR. Den tilhører generasjon III, og er nå aktuell for bygging.

ADS (Accelerator Driven Systems) En subkritisk reaktor som ikke kan opprettholde en kjedereaksjon på egenhånd, men som drives av nøytroner fra en annen kilde. I en ADS vil disse nøytronene produseres ved en spallasjonsprosess der en protonstråle fra en akselerator treffer tunge kjerner, f eks. i bly. ADS er et aktuelt system ved bruk av thorium som brensel. (avsnitt 3.2.3 og 3.4).

AHWR (Advanced Heawy Water Reactor) En avansert tungtvannsreaktor som er aktuell for bruk av thorium som brensel (avsnitt 3.2.3).

EPR (European Pressurised Reactor) En type PWR som ble forslått av Frankrike/Tyskland basert på en som en europeisk sikkerhetsstandard. Reaktoren bygges i Finland och i Frankrike.

GFR (Gas cooled Fast Reactor). En heliumkjølt reaktor av generasjon IV. Fisjonen skjer med hurtige nøytroner og fertilt brenselmateriale konverteres til fissilt (breeding effekt). Reaktoren har en avansert termisk syklus med høy virkningsgrad. Nye typer brensel for denne type reaktorer er under utvikling (avsnitt 3.2.2).

HPLWR (High Performance Light Water Reactor) Dette er en europeisk utvikling av en LWR som drives med overkritiske trykk. Den tilhører generation 4, og målet for denne typen er med utgangspunkt i dagens teknologi å få fram reaktor med bedre virkningsgrad (avsnitt 3.2.2).

LFR (Lead-coled Fast Reactor) En generasjon IV-reaktor basert på et spektrum av hurtige nøytroner. Reaktoren kjøles med bly eller bly/vismut blanding. Reaktoren har et stort

anvendelsesområde – fra mindre "batterier" med liten effekt og ferdigladet kjerne fra fabrikk med lange intervall mellom ladningene, til meget store anlegg (avsnitt 3.2.2).

LWR (Light Water Reactor) Betegnelse på en reaktor med vanlig vann som moderator og kjølemiddel.

MSR (Molten Salt Reactor) En generasjon IV reaktor basert på kjøling med flytende salt. Det finns flere alternative konstruksjoner. Flere har oppløst brensel som urantetrafluorid med grafitt som moderator. Nyere konsepter anvender andre salter med thorium og U^{233} som brensel. Reaktorene har høy drifttemperatur ved lavt trykk, mer kortlivet avfall og lavt forbruk av brensel.

PBMR (Pebble Bed Modular Reactor) En generasjon reaktorer som ofte betegnes spm III+ (avsnitt 3.2.1). Brenselet er i form av kuler med et ytre lag av moderator i form av grafitt. Reaktoren kjøles med gass som helium, nitrogen eller CO_2 ved svært høye temperaturer. Det benyttes en spesiell gass-syklus å få en god virkningsgrad. Brenselet anses å være meget robust mot skader og utslipp. Ett flertall prototyper er prøvd.

RBMK (Light Water Graphite Moderated Reactor) En russisk type reaktor med grafitt som moderator og vanlig vann som kjølemiddel. Vannet holder ca 290 ^{o}C, omtrent det samme som i en BWR.

SFR (Sodium-cooled Fast Reactor) En generasjon IV reaktor basert på kjøling med flytende natrium og hurtige nøytroner. Brenselet er en metallisk legering av uran og plutonium. Målet er å effektivisere bruk av uran ved breeding av plutonium og dessuten fjerne transuraner med lang halveringstid. Det hevdes at reaktoren er "passivt sikker" (avsnitt 3.2.2).

SCWR (Supercritical-Water-Cooled Reactor) En reaktor av generasjon IV som er kjølt med vann ved superkritiske trykk. Dette er den type avanserte reaktorer som ligger nærmes dagens LWR. Man vil anvende et kjølesystem som for en BWR. Et hovedmål ved denne reaktoren er å utnytte erfaringer fra kraftverk basert på forbrenning av fossilt brensel for å forbedre virkningsgraden for kjernekraftverk. Alternativ med både termiske og hurtige nøytroner er aktuelle (avsnitt 3.2.2).

VHTR (Very-High-Temperature Reactor) En reaktor av generasjon IV med meget høye temperaturer, som skal kunne anvendes direkte for produksjon av hydrogen med termokjemiske metoder. VHTR er tenkt basert på basert på en heliumkjølt, grafittmoderert reaktor som anvender termiske nøytroner (avsnitt 3.2.2).

Vedlegg 1

AEN NEA Nuclear Energy Agency

OECD

Summary of the Meeting with the Norwegian Committee on the Evaluation of the Reactor-Based Activities at IFE

NEA Headquarters, Issy-les-Moulineaux

24 January 2008

Participants: - Members of the Committee

- Mr. Lennart Carlsson, head for Reactor Safety at SKI, Sweden
- Mr. Javier Reig, head of the NEA Nuclear Safety Division (NSD)
- Mr. Carlo Vitanza, deputy head of NSD, manager of the NEA safety projects

The Norwegian Government, through the Ministry of Trade and Industry, had asked the Research Council of Norway to conduct an evaluation of the activities based on IFE's two test reactors respectively located at Kjeller and Halden. The evaluation will be an important factor for the decision regarding the reactors continued operation.

The Committee convened a meeting with two NEA senior staff members, aiming to discuss issues related to the Halden reactor, in consideration of its relevance for the OECD-NEA safety activities. The head for Reactor Safety at the Swedish Nuclear Inspectorate (SKI) was invited to the meeting to provide input from the perspective of a long-term user of the Halden reactor test program. The meeting was held at the NEA premises near Paris on 24 January 2008. The agenda was as follows:

1. Welcome by Luis Echávarri, NEA Director General
2. Brief introduction of Evaluation Committee and NEA members
3. Overview of NEA scope and international Projects
4. Response to the Evaluation Committee questions

The summary of the points discussed under the last agenda item is provided below.

I. General quality of the Halden research and its value within the HRP

The research conducted at Halden is valued by the nuclear community, as demonstrated by the continued participation of a large number of countries and organisations in the OECD Halden Project. In particular, for what concerns the reactor-related activities, the Halden establishment has developed a unique capability to design and construct advanced test rigs enabling to generate data of high quality in response to the needs expressed by the nuclear community. In terms of both quality and amount of information produced, the Halden reactor has an unequalled position on world basis. In practice, the bulk of nuclear fuel data used in the world nuclear community comes from Halden.

The OECD Halden Project has been used as a model by the OECD-NEA for setting up new safety projects in various technical areas such as fuel, thermal-hydraulics and severe accidents. Similarly to the Halden Project, these OECD projects are of experimental nature and focus on a given facility having specific characteristics.

II. Areas where the Halden research is particularly strong

Technically, the areas of strength are basically the same as those addressed in the OECD Halden Project programme, i.e. the fuel and material area and the MTO area with its whole set of sub-programs. There are also non-technical areas of strength, such as the ability to interact with the nuclear world, the effective result dissemination through systematic reporting, the organisation of well-attended technical meetings and the hosting of international staff at Halden through “secondee” arrangements.

The MTO area has a potential of extending its field of action from nuclear to other industries, as the successful experience in the oil sector has shown. Increased automation and visualisation methods will play an important role in the reduction of potential human error in operation and maintenance of complex industrial systems. Nuclear applications may draw considerable benefit from the Halden MTO interaction with other industries.

The Halden reactor has unique capabilities in that it can perform many tests at the same time, it has instrumentation capable of monitoring relevant phenomena on-line and it has an outstanding record in managing and executing complex experiments. The reactor related activities are already diversified to a considerable extent and touch most, if not all relevant fuel and materials safety issues. The efforts made so far to extend the Halden instrumentation capability from the reactor to other industrial environments should be encouraged, although the main aim from the perspective of the nuclear safety users will be to maintain excellence in the reactor experimentations.

III. Importance of the reactor for the HRP, in particular for MTO part

The reactor was instrumental for initiating the so called “process control” activities at Halden in the late 70s. The presence of a large reactor program has also favored the gradual growth of the MTO activities up to the level where they are today. As they are currently structured, the two programs are from the technical point of view rather independent from each other. However, the two programs operate in synergy with each other, and their co-existence has been instrumental for preserving the interest of a broad cross section of customers over a long time. In other words, since priorities may vary from time to time and from country to country, having a wide spectrum of activities helps in maintaining program continuity.

IV. NEA views on consequences for the HRP if the reactor is closed

In addressing a similar subject three years ago[33], the NEA considered that the survival of an MTO program on its own at Halden would be difficult because the MTO market basis was not sufficiently robust. Today, one should acknowledge that the MTO area has made important progress and strengthened considerably its position. The progress has been marked both in the nuclear and in the oil-related industry.

While acknowledging the brilliant MTO results obtained lately, the NEA maintains the view that there would be challenges associated with running an MTO program on its own. This is mainly because the MTO program is more easily "transportable" to other establishments, making it more exposed to competition.

Shutting down the reactor would in the short term result in a decrease of the Halden program to less than half of its current size. From the perspective of the NEA member countries, a closure of the Halden reactor would represent a significant loss of experimental capability, which would need to be established elsewhere. On the assumption that there are not short term constraints, it would be advisable that potential Norwegian plans for a possible closure of the reactor be devised such that alternatives could be arranged.

As an additional remark, it should be observed that the closure of the Halden reactor may reduce the profile that Norway currently has in the international nuclear safety community.

V. NEA views on HRP future assuming the reactor will be in operation

Because of the increased interest worldwide for a nuclear option, the NEA believes that there will be continued need for activities as those carried out at Halden also in the long term. The Halden Board of Management confirmed at its last meeting (Paris, 4 December 2007) the strong support of the international community for the continuation of the Halden program for the 2009-2011 time period.

As the past experience shows, the successful Halden operation in the future will reside in continued technology innovation, dynamic organisation and sound economy.

VI. NEA views on Halden role in basic research, e.g. on advanced reactors

Halden performs applied research, i.e. research that is meant to be used by regulators and industry as widely and directly as possible. The NEA has in the past addressed the issue of regulator-industry co-operation on safety research and concluded that such co-operation is advisable in the data gathering process, as it increases the realism and effectiveness of the research as well as the usability of the results, while preserving regulator and industry independence in the data interpretation process.

The program of the OECD Halden Project is defined by the project participants, who are predominantly regulators or regulator-support organisations. As currently envisaged, the program for 2009-2011 focuses on safety and performance issues more related to current reactors, rather than advanced reactor (Gen-IV). This, however, may change in the future.

---

[33] NEA summary of Meeting of NEA staff with the "Konsekvensutredningsutvalget for Halden Reaktoren", 17 January 2005

VII. Importance of the Norwegian-Russian collaboration for the Halden Project

The bilateral collaboration between Russia and Norway has contributed to the improved safety of Russian NPP, particularly at the Kola (and Leningrad) nuclear power plant. While bilateral collaborations are administered separately from the joint program, the co-existence of a bilateral and a joint program is one of the key factors for the success of Halden. In particular, the Norwegian-Russian program has demonstrated the value of having domestic expertise able to produce concrete results and respond to specific national interests in the nuclear sector.

Paris, 28 January 2008

For the OECD NEA:

Javier Reig Carlo Vitanza

Publikasjonen kan bestilles på
www.forskningsradet.no/publikasjoner

Norges forskningsråd
Stensberggata 26
Postboks 2700 St. Hanshaugen
N0-0131 Oslo

Telefon +47 22 03 70 00
Telefaks +47 22 03 70 01
post@forskningsradet.no
www.forskningsradet.no

Design: Design et cetera AS

ISBN 978-82-02526-4 (trykk)
ISBN 978-82-02527-1 (pdf)