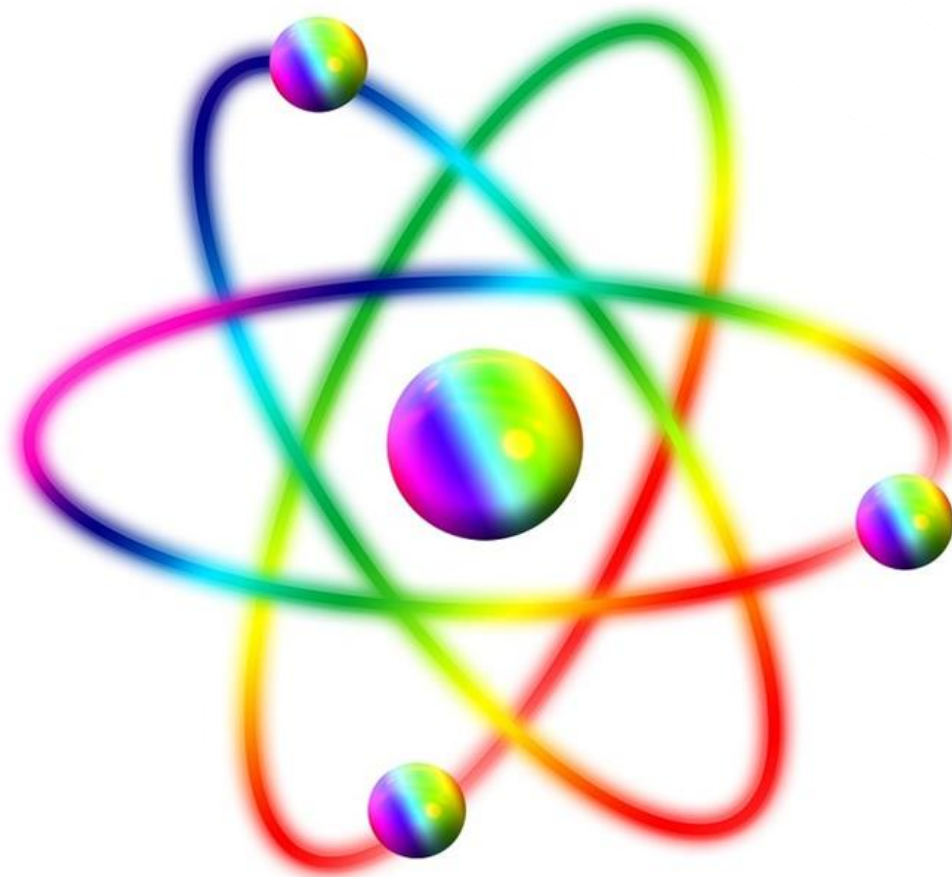


JEEP II

Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi



JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

Prosjektperiode
Februar 2019 - Juni 2019

Prosjektteam
Sjefsanalytiker Elisabet S. Hauge (prosjektleder), sjefsanalytiker Tor
Borgar Hansen, analytiker Kristin S. Bårnås, analytiker Morten
Grønås-Werring.

Om Oxford Research

Knowledge for a better society

Oxford Research er et nordisk analyseselskap. Vi dokumenterer og utvikler kunnskap gjennom analyser, evalueringer og utredninger slik at politiske og strategiske aktører kan få et bedre grunnlag for sine beslutninger.

Vi kombinerer vitenskapelige arbeidsmetoder med kreativ idéutvikling for å tilføre våre kunder ny kunnskap. Vårt spesialfelt er analyser og evalueringer innen nærings- og regionalutvikling, forskning samt velferds- og utdanningspolitikk.

Oxford Research ble grunnlagt i 1995 og har selskaper i Norge, Danmark, Sverige, Finland og Latvia. Oxford Research er en del av Oxfordgruppen og retter sitt arbeid mot det nordiske og det europeiske markedet.

Oxford Research AS
Østre Strandgate 1
4623 Kristiansand
Norge
(+47) 40 00 57 93
post@oxford.no
www.oxford.no

Forord

Formålet med denne utredningen og evalueringen er å utarbeide en oversikt over forskning med tilknytning til JEEP II og vurdere JEEP IIs betydning for forsknings-, kunnskaps- og næringsutvikling

Evalueringen er gjennomført av Oxford Research AS i samarbeid med Møreforskning. Evalueringsteamet har bestått av sjefsanalytiker Ph.d. Elisabet Sørfjorddal Hauge, analytiker Ph.d. Kristin Stanwick Bårnås og analytiker Morten Grønås-Werring (alle Oxford Research), samt forsker Helge Bremnes (Møreforskning).

Oppdragsgiver for evalueringen er Norges Forskningsråd, representert ved evalueringsansvarlig Carina Hundhammer. Evalueringsarbeidet er fulgt av en referansegruppe bestående av Asbjørn Mo (NFR), Jon Holm (NFR) og Odd Ivar Eriksen (NFR). Karl G. Johannessen (NFD) deltok på to av referansegruppemøtene som observatør. Vi takker referansegruppen for engasjert deltakelse og gode innspill.

Takk til Norges forskningsråd for oppdraget og for godt samarbeid.

Kristiansand 28. juni 2019

Elisabet S. Hauge

Elisabet Sørfjorddal Hauge
Prosjektleder
Oxford Research AS

Innhold

Sammendrag	1
Summary	4
1. Om utredningen og evalueringen	7
1.1 Problemstilling	8
1.2 Bakgrunn for JEEP II	9
1.3 JEEP IIs plassering ved IFE	9
1.3.1 NcNeutron	10
2. Forskningen ved JEEP II	12
2.1 Forskningsaktivitetene ved JEEP II	12
2.1.1 Forskningsaktiviteter siden 1948	13
2.1.2 Sentral forskning i dag	15
2.1.3 Reaktorens rolle for øvrig forskning på IFE	19
2.1 Vitenskapelig publisering i perioden 2008-2017	19
2.2 Evaluators vurdering	24
3. Det norske aktørbildet og nasjonal betydning	26
3.1 Bidragsyterne	27
3.1.1 Forskningsrådets basisbevilgning	27
3.1.2 Eksterne prosjekter Nøytron etter 2002	27
3.2 Samarbeidspartnere innenfor forskning og utdanning 2008-2018	28
3.3 Andre oppdragsgivere – anvendt forskning	30
3.3.1 Industri	30
3.3.2 Helsesektoren	32
3.4 Rektorens betydning for forskning og utdanning	32
3.4.1 Reaktorens betydning for forskning	33
3.4.2 Reaktordriftens betydning for utdanningsmiljøene	33
3.5 Nasjonal atomsikkerhet og atomberedskap	35
3.6 Evaluators vurdering	35
4. The European Spallation Source (ESS) og øvrig internasjonal forskning	37
4.1 ESS bruk og tilgang	38
4.2 Norges forpliktelser til ESS	39
4.3 Betydningen av JEEP II for nytte av ESS	40
4.4 Forpliktelser og betydning for øvrig internasjonal forskning	41
4.4.1 Internasjonale prosjekter, samarbeid og publikasjoner	41
4.4.2 Innflytelse på internasjonal forskning	43
4.5 Evaluators vurdering	48
5. Næringsmessig og økonomisk betydning	49
5.1 Reaktordriftens betydning for næringslivet	49

5.2	Overordnet kost-nytte vurdering	53
5.2.1	Kostnader	53
5.2.2	Nytteverdier	56
5.3	Evaluators vurdering	58
6.	Anbefalinger	59
6.1	Sikre kompetansemiljøet	60
6.2	Samarbeid med andre reaktorer/ nøytronkilder	61
6.2.1	Flytting av instrumenter	61
6.2.2	Bidrag til bygging av instrumenter	61
6.2.3	Forskere og studenter på utveksling	62
6.3	Utrede muligheten for å etablere en lineærakselerator	62
	Vedlegg – Metodisk tilnærming	64
	Vedlegg – Oversikt over eksternt finansierte prosjekter ved avdeling NØYTRON siden 2002	1

Sammendrag

Formålet med denne utredningen og evalueringen er å utarbeide en oversikt over forskning med tilknytning til JEEP II og vurdere JEEP IIs betydning for forsknings-, kunnskaps- og næringsutvikling. Aktiviteten ved JEEP II ble avvirket i mars 2019. Basert på oppdragsgivers behov for kunnskap om JEEP II er følgende hovedproblemstilling formulert:

Hva har vært den forsknings-, kunnskaps- og næringsmessige betydningen av JEEP II i norsk og internasjonal sammenheng?

Det sentrale siktemålet med utredningen er å samle inn og systematisere informasjon som kan belyse reaktordriften, i form av den forsknings-, kunnskaps- og næringsmessige betydningen, forstått som *nytteverdien*. Et sentralt fokusområde for utredningen er derfor hvilke av IFEs aktiviteter som er uløselig knyttet til JEEP II-reaktoren, og den videre nytten for ulike interessenter. I tillegg belyses nytten av reaktordriften for samfunnet i vid forstand i form av økt fremtidig nukleær kompetanse og atomberedskap.

Den mest sentrale forskningsaktiviteten ved JEEP II-reaktoren har vært grunnforskning i fysikk og materialforskning. Hovedformålet til JEEP II har vært å produsere nøytroner som kan brukes til å gi informasjon om lette grunnstoffer og som fungerer som en ikke-destruktiv metode for å studere egenskaper i materialer. JEEP II-reaktoren har vært viktig for forskning på områder som for eksempel fornybar energi, myke materialer, energilagring og magnetisme. Spesielt hydrogenlagring har vært et område hvor IFE har hatt et kunnskapsmiljø knyttet til JEEP II over flere tiår. Reaktoren har også spilt en rolle innen andre områder, primært innen produksjon av ulike isotoper for medisinsk forskning og industrielle formål.

Det er primært nøytronforskere ved IFE som har benyttet seg av JEEP II. I tillegg har reaktoren blitt brukt til noe oppdragsforskning, til samarbeidsprosjekter med ulike institusjoner og til noen kursaktiviteter. Antallet aktører med relasjoner til JEEP II er relativt lite, og brukergruppen består primært av et spesialisert miljø. Samtidig har nøytroner og isotoper brukernytte innenfor et bredt faglig spekter. Som forskningsmetode treffer nøytronspredning et bredt utvalg av materialforskere innenfor harde materialer til mykt biologisk vev, til tracing av sporstoffer og lagring av energi for ulike formål. Med det som utgangspunkt kunne tverrfaglighet over tid ha ledet til mer læring og cross-overs på tvers av fagmiljøer. I neste omgang kunne det bidratt til nye produkt og prosess innovasjoner i sektorer der nøytronspredning er anvendbart.

Selv om de aktørene som har vært direkte involvert med JEEP II -reaktoren er relativt få, er nytten av forskningen imidlertid bred i samfunnsutviklingen. Forskningen kommer samfunnet til gode i form av innovasjoner som flerfaseteknologi for olje og gass utvinning, bedre batterier med stadig større ladekapasitet, mulig løsning på problemet med resistente bakterier, bedre kreftbehandling med færre behandlingsskader, forbedrede materialer i byggkonstruksjoner og så videre.

European Spallation Source (ESS) som er under bygging i Lund i Sverige, vil bli verdens kraftigste nøytronkilde når den er ferdig i 2025/2026. Målet med ESS er å levere flaggskipkapasitet til

nøytronbrukere, og supplere en rekke nøytronanlegg i hele Europa. ESS vil gjøre det mulig å utføre undersøkelser som ikke er mulig ved dagens nøytronkilder.

Norge bidrar til byggingen av ESS gjennom direkte økonomisk støtte og in-kind bidrag. Selv om Norges bidrag er betydelig, er muligheter for å få tilgang til å bruke nøytronanlegget begrenset. Tilgang vil være basert på fagfellevurdering av søknader hvor høyt vitenskapelig nivå og prosjektets gjennomførbarhet er grunnleggende kriterium for å få tildelt tid. Å ha tilgang til mindre nøytronkilder er viktig for å få avkastning av investeringene i ESS. Vanskeligere tilgang forsterkes gjennom at flere nøytronkilder i Europa stenges. JEEP II kunne som en mindre nøytronkilde med lett tilgjengelighet, ha representert et springbrett mot ESS. JEEP II kunne ha fungere som opplæringsarena for fremtidige norske brukere av ESS, samt som verktøy i utviklingsprosessen av projektskisser som kvalifiserer til tilgang til å gjennomføre eksperimenter, tester og forsøk ved ESS. Det er derfor ikke for Norges forpliktelser til ESS at nedleggelsen av JEEP II har konsekvenser, men heller for nytten Norge vil få ut av denne investeringen.

Utredningen viser at norske og internasjonale forskningsinstitusjoner har nyttiggjort seg av JEEP II både som infrastruktur for egen forskning, men også som kunnskapsnav i nøytron- og isotoporientert forskning. Reaktoren har fungert som en inngangsport til internasjonalt samarbeid. Reaktoren har også bidratt til å tiltrekke seg internasjonale forskere og fungert som node for nettverksbygging. Avdelingen nøytron materialkarakterisering har produsert et betydelig antall publikasjoner i journaler med fagfellevurdering. Avdelingen hadde felles publikasjoner med 149 institusjoner i 37 land utenom Norge mellom 2008-2017. I tillegg har avdelingen samarbeid med 22 forsknings- og industripartnere i pågående prosjekter hvor det forventes felles publikasjoner og forskningsresultater senere. Avdeling Nøytron har også deltatt i 27 EU-finansierte prosjekter siden 2002.

Utredningen viser at nytteverdien av JEEP II for næringslivet primært har vært gjennom videreutvikling av kunnskap etablert gjennom grunnforskning, snarere enn gjennom anvendte forskningsoppdrag. Instrumentene i tilknytning til JEEP II har vært orientert mot grunnforskning, og dermed mindre relevante for aktører i norsk næringsliv med henblikk på direkte anvendelse. Den økonomiske betydningen av patenter, lisenser og oppstartsbedrifter med direkte bakgrunn i forskningen ved JEEP II er forholdsvis begrenset. Bedriftene har stått for en samlet omsetning på omkring 19 millioner kroner, og ett av selskapene (N-Tec) ble oppløst i 2017. Den virkelige betydningen for næringslivet er knyttet til kunnskapsoverføring, men det er ikke mulig å stadfeste hvor store økonomiske verdier dette har generert.

Anbefalinger som fremkommer fra utredningens og evalueringens funn er preget av at aktiviteten ved JEEP II er besluttet lagt ned. Med stengingen av JEEP II er en viktig del av infrastrukturen for grunnforskning, testing og forsøk i FoU-prosjekter forsvunnet. Uten infrastruktur som inkluderer nøytronanlegg vil det være umulig å gjennomføre tester, forsøk og eksperimenter med nøytronspredning som metode. Med fjerning av en del av infrastrukturen for forskning, fjernes en opsjon på fremtidens nyvinninger. Norge som nasjon begrenser muligheten til å være med på nye oppdagelser og til å fremme og kommersialisere nyvinninger. Når JEEP II nå er stengt er det viktig å gjøre noen strategiske grep som gir Norge fortsatt mulighet til å delta i utviklingsspor som kommer i fremtiden. Basert analysene fra det empiriske materialet har evalueringsteamet følgende anbefalinger;

Anbefalinger på kort sikt:

- Sikre at kompetansemiljøet ikke forvitrer ved IFE
- Forpliktende samarbeidsavtaler med andre reaktorer/ nøytronkilder

Anbefalinger på lang sikt:

- Utrede muligheten for å etablere en lineærakselerator

Summary

The purpose of this evaluation is to compile an overview of the research linked to the JEEP II-reactor, and to evaluate the utility of JEEP II in the domains of research, education and business. The research activity was closed in March 2019. Based on the commission, the following research question has been formulated:

What has been the research-, knowledge- and economic significance of JEEP II in Norwegian and international context?

The central aim of the evaluation has been to collect and systematize information connected to the scientific, educational and industrial significance, understood as the *utility*, of the reactor. Hence, a central focus area in the evaluation is on which of IFE's activities are inextricably linked to the JEEP II-reactor, and their importance for various stakeholders. Additionally, the benefits of the reactor for the wider society considering future nuclear competence and nuclear preparedness are illuminated.

The primary research activity at the JEEP II-reactor has been basic research in physics and material science. The main function of JEEP II has been to produce neutrons, which can be used to provide information about light elements, and which acts as a non-destructive method for studying materials. The JEEP II-reactor has been of importance in research fields such as renewable energy, soft materials, energy storage and magnetism. Hydrogen storage especially has been an area where IFE has had a knowledge base linked to JEEP II for decades. The reactor has also played a role in other areas, primarily related to the production of various isotopes for medical research and industrial purposes.

The reactor was used mainly by research personnel at IFE, in addition to commissioned research, collaboration projects with various institutions and a few university courses. There have been relatively few actors involved with JEEP-II, and the users have been part of a highly specialized community. On the other hand, neutrons and isotopes are useful in a broad range of scientific disciplines. They can be used to study hard and soft materials, including biological tissue, magnetism, radioactive tracing and energy storage for various purposes. Consequently, interdisciplinary research could over time have realized the potential for cross-over and reciprocal learning across different research environments. This could again have resulted in product- and process innovations in sectors where neutron scattering is applicable.

Even though the number of direct users of the JEEP II-reactor have been limited, the utility of the research for the development of society is broader. The research can benefit society in the sense of innovations, such as multiphase flow technology for the extraction of oil and gas, better batteries with ever greater capacity, possible remedies for antibiotic-resistant bacteria, improved treatments for cancer, enhanced materials for construction, and so on.

The European Spallation Source (ESS), which is being built in Lund, Sweden, will become the world's most powerful neutron source when it is completed in 2025/2026. The aim of ESS is to deliver

flagship capacity to the users of neutrons and to be a supplement to neutron facilities all over Europe. ESS will make it possible to accomplish research which would be impossible with the neutron sources of today.

Norway is contributing to the construction of ESS through direct financial support and through in-kind contributions. Even though Norway's contribution is significant, access to the facility will be a limited resource. Access will be based on peer-review of applications, where demonstrated scientific standing and the project's feasibility is fundamental criteria's for obtaining allocated time. Having access to smaller neutron sources is important in order to get a return on the investment in the ESS. Neutron availability issues are reinforced by the closure of several neutron sources in Europe. JEEP II, as a smaller neutron source with easy accessibility, could have represented a stepping stone towards the ESS. JEEP II could have served as the training arena for future Norwegian users of ESS, as well as a tool in the development process for projects aimed at testing in the ESS. It is therefore not regarding Norway's obligations to the ESS that the closure of JEEP II has consequences, but rather for the returns Norway will get out of this investment

The evaluation demonstrates that Norwegian and international research institutions have benefited from JEEP II, both as an infrastructure for their own research, but also as a knowledge hub in neutron- and isotope-oriented research. The reactor has provided a gateway to international partnerships and collaborations. The reactor has also contributed to attracting international researchers and it has served as a network builder. The Neutron Material Characterization department at IFE has produced a significant number of publications in peer-reviewed journals. The department had joint publications with 149 institutions in 37 countries outside of Norway between 2008-2017. In addition, the department collaborates with 22 research- and industrial partners on ongoing projects, where joint publications and research results are expected in the future. The department has also participated in 27 EU-funded projects since 2002.

The evaluation further shows that the utility of JEEP II for the business community primarily has been through the development of knowledge through basic research, rather than through applied research assignments. The instruments at JEEP II have been oriented towards basic research and have therefore been less relevant for Norwegian business and industry. The economic importance of patents, licenses and start-ups with a direct background from research at JEEP II, is relatively limited. The companies have had a total turnover of about NOK 19 million, and one of the companies (N-Tec) was dissolved in 2017. The real impact on the business sector is related to the transfer of knowledge, and it is impossible to determine the economic gains this has generated.

The focus of the recommendations based on the findings of the evaluation has been affected by the decision on the part of IFE to shut down activities at JEEP II. With the closure of JEEP II, a crucial part of the infrastructure for basic research, tests and experiments in R&D-projects has disappeared. Without infrastructure that includes neutron sources, it will be impossible to accomplish tests, and experiments with neutron scattering as a method. Losing an integral part of the research infrastructure, means that an option on future innovations will be removed. Norway as a nation will be limited in its' opportunity to be a part of new discoveries and to promote and commercialize innovations. With JEEP II being closed, it is important to make strategic choices that will allow Norway the opportunity

to participate in future development paths. Based on the analyses on the empirical material, the evaluation have formulated the following recommendations;

Short term:

- Ensure that the community expertise at IFE does not disintegrate
- Facilitate the formation of binding partnerships with other reactors/neutron sources.

Long term:

- Explore the opportunity to establish a linear accelerator.

1. Om utredningen og evalueringen

Joint Establishment Experimental Pile II, bedre kjent som JEEP II, er en atomreaktor på Kjeller ved Lillestrøm. JEEP II ble brukt til grunnforskning i faste stoffers fysikk, nøytronbestråling av materialer og produksjon av spesifikke radioaktive materialer. Reaktoren var en av to atomreaktorer i Norge. Som følge av at det ble oppdaget korrosjon ved reaktoren på Kjeller, ble aktiviteten ved JEEP II midlertidig stengt i februar 2019. Korrosjonen viste seg å være svært omfattende, og 25. mars ble det besluttet i Stiftelsen Institutt for energiteknikk (IFE) styre at aktiviteten ved JEEP II stenges for godt. Den andre reaktoren i Norge, Haldenreaktoren, ble brukt til undersøkelser av reaktorbrensel og ulike materialers egenskaper og oppførsel ved langtidsbruk i reaktoranlegg. Resultatene fra forskningen inngikk i sikkerhetsvurderinger og sikkerhetssystemer for kjernekraftverk i medlemslandene. Haldenreaktoren ble lagt ned i 2018. IFE eier, og vært ansvarlig for driften av begge atomreaktorene.

Formålet med denne utredningen og evalueringen er å utarbeide en oversikt over forskning med tilknytning til JEEP II. Basert på oppdragsgivers behov for kunnskap om JEEP II er følgende hovedproblemstilling for evalueringen formulert:

Hva har vært den forsknings-, kunnskaps- og næringsmessige betydningen av JEEP-II i norsk og internasjonal sammenheng?

Hensikten med denne med utredningen er å samle inn og systematisere informasjon som kan belyse reaktordriften, i form av den forsknings-, kunnskaps- og næringsmessige betydningen, forstått som *nytteverdien*. Det empirisk orienterte utredningsarbeidet dreier seg derfor om hvilke verdier som kan gå tapt nå når reaktordriften er avviklet. Et sentralt fokusområde for utredningen er derfor hvilke av IFEs aktiviteter som er uløselig knyttet til JEEP II-reaktoren, og den videre forsknings-, kunnskapsmessige og næringsmessige nytten for ulike interessenter. I tillegg belyses nytten av reaktordriften for samfunnet i vid forstand i form av nukleær kompetanse, atomberedskap og deltagelse i internasjonalt nedrustningssamarbeid.

Utredningen innebærer derfor også en analyse av betydningen av JEEP II-reaktoren, noe som i stor grad innebærer en beskrivelse av reaktordriften og dens ringvirkninger innenfor ulike bruksområder. Det innebærer å etablere en oversikt over aktørbildet som har forbindelser til JEEP II, og gjøre rede for hvilken nytteverdi JEEP II har for forskningsinstitusjoner, utdanningsinstitusjoner, næringslivsaktører, samt offentlige aktører, herunder i form av samarbeidsprosjekter, kunnskapsoverføring, og opprettelse av bedrifter og lisensvirksomhet basert på forskning ved reaktoren. En særlig viktig relasjon i så måte er tilknytningen til European Spallation Source (ESS). Det er derfor sentralt i utredningen å beskrive de forpliktelser som er knyttet til IFEs samarbeid med ESS, hvordan samarbeidet påvirkes av at reaktordriften på Kjeller nå er avsluttet og hvordan nedstengingen påvirker Norges mulighet for å benytte seg av ESS.

1.1 Problemstillinger

Hovedproblemstillingen er operasjonalisert i flere sentrale spørsmål som er strukturert i fire temaer. Rapportstrukturen følger temainndelingen, og kapitlene 2-5 redegjør hver for seg for hvert av de fire temaene. Tabell 1 oppsummerer sentrale spørsmål knyttet til hvert av de fire temaene.

Tabell 1. Sentrale problemstillinger i utredningen strukturert i fire temaer

Tema	Sentrale spørsmål i utredningen
Forskningen ved JEEP II	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hva er de sentrale forskningsaktivitetene ved JEEP II? 2. I hvilken grad er JEEP II av betydning for IFEs øvrige forskning?
Aktørbildet og nasjonal betydning	<ol style="list-style-type: none"> 3. Hvordan anvender norske forskningsinstitusjoner JEEP II og nyttiggjør seg av forskning knyttet til JEEP II? 4. Hvilke eventuelle andre miljøer bruker kunnskapsmiljøet ved JEEP II-reaktoren, herunder UD's internasjonale prosjekter innenfor atom-sikkerhet? 5. Hva er betydningen av reaktordriften for nasjonal atomberedskap? 6. Hva er betydningen reaktordriften har for fremtidig norsk nukleær kompetanse? 7. Hva er JEEP II's betydning for nasjonalt utdanningstilbud innen real-fag?
Forpliktelser og betydning for ESS i Lund (og øvrig internasjonal forskning)	<ol style="list-style-type: none"> 8. Hva er JEEP II's betydning for øvrig internasjonal forskning? 9. Hvilke forpliktelser har Norge i forbindelse med etableringen av ESS? 10. Hvordan er JEEP II av betydning for det norske bidraget til ESS og hvor lenge disse forpliktelsene vil vare? 11. Hva er konsekvensene for Norges bidrag til ESS av nedstenging av JEEP II?
JEEP II's økonomi	<ol style="list-style-type: none"> 12. Hva er den næringsmessige betydningen av IFEs virksomhet knyttet til JEEP II, med hensyn til: <ul style="list-style-type: none"> • samarbeidsprosjekter og kunnskapsoverføring til næringslivet • patenterings- og lisensieringsvirksomhet • opprettelse av bedrifter og omsetning i bedriftene 13. Hva er den overordnede kost-nytte-vurdering av fortsatt drift av JEEP II- overgår nytteverdiene ved driften kostnadene?

Kilde: Oxford Research AS

Problemstillingene som er listet opp i tabellen er i utredningen søkt besvart og analysert med hjelp av metodetriangulering. Kvantitative data er samlet gjennom survey orientert mot brukere og samarbeidspartnere til JEEP II-reaktoren. Kvalitative data er samlet inn gjennom intervju. Utredningens datainnsamlingsfase ble innledet med at IFE bedt om å svare på og redegjøre for flere spørsmål i et selvevalueringsskjema. Gjennomføringen av datainnsamlingen bygger på IFEs selvevaluering. Vedlegget – Metodisk tilnærming i utredningen, beskriver i detalj data som evalueringsteamet har benyttet seg av, hvordan data er skaffet til veie og hvordan dataene er analysert.

1.2 Bakgrunn for JEEP II

JEEP II er en tungtvannsmoderert reaktor som har blitt brukt til forskningsmessige formål. Reaktoren ble først satt i drift i 1967. Norges første atomreaktor, JEEP I, åpnet i november 1951 og var i drift frem til 1967. Dette var den første atomreaktoren bygget utenfor stormaktlandene. I 1959 åpnet Halden-reaktoren, mens Nora åpnet på Kjeller i 1961. Tungtvannproduksjon, ekspertise og vilje til å satse på fremtidens teknologi i etterkrigssituasjonen la grunnlaget for at byggingen av den første atomreaktoren ble satt i gang. Utgangspunkt for opprettelsen var videre at Norge ønsket å delta i forskning på kjernefysikk og atomenergi for å kunne utnytte atomenergi til fredelige formål.¹ Atomreaktorene i Norge har altså alltid hatt et forskningsorientert formål. Forskning og kunnskap ved atomreaktorene i Norge har blant annet blitt overført til petroleumssektoren (flerfasestrømning), til medisinsk bruk, til materialeteknologi og til atomsikkerhetsarbeid. JEEP II var tungtvannsmoderert og med lav temperatur (55° C). Reaktoren brukte lavanrikt uranium som brensel.

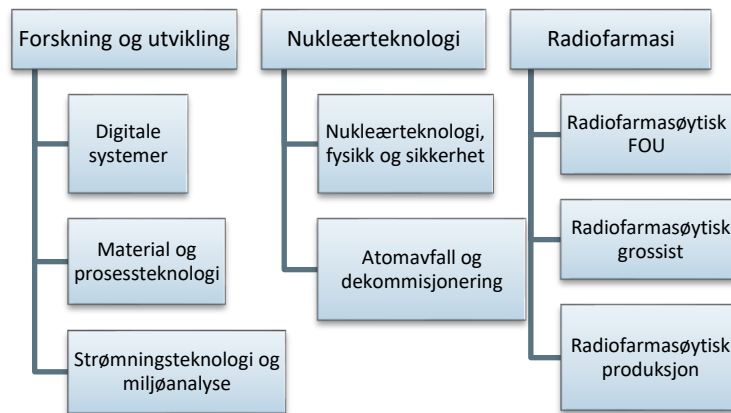
JEEP II har vært eid og drevet av Institutt for energiteknikk (tidligere Institutt for atomenergi), bedre kjent som IFE. IFE er en uavhengig forskningsstiftelse som er lokalisert både på Kjeller og i Halden. IFEs arbeid er først og fremst konsentrert til tre områder: fornybar energi, digitalisering og helse. I desember 2018 ble IFE gitt konsesjon til å drive atomanlegget på Kjeller frem til desember 2028. Hovedinntektene til JEEP II har kommet fra basisbevilgning fra Norges forskningsråd. Reaktoren har i tillegg hatt både interne og eksterne inntekter blant annet gjennom forskningsprosjekter, internt salg av isotoper og bestrålingsinntekter.

1.3 JEEP IIs plassering ved IFE

IFE er organisert i åtte sektorer tilhørende tre overordnede divisjoner; Forskning og utvikling, Nuklearteknologi og Radiofarmasi (figur 1). Nils Huseby er administrerende direktør for IFE.

¹ Stensrud, I. T. (2012). *Ioniserende stråling: Strålevern, helsefysikk og strålehygiene, fra røntgenstråler og radium til bomber og reaktorkontroll*. Upublisert Masteroppgave, NTNU.

Figur 1: Oversikt over IFEs organisering



JEEP II har vært viktig for flere områder på IFE, men det er spesielt avdelingen Nøytron Materialkarakterisering som ligger under sektoren «material og prosessteknologi» som har benyttet reaktoren til mye av sin forskningsvirksomhet. Avdelingen Nøytron Materialkarakterisering har 23 ansatte, herav 14 fast ansatte, 2 Ph.d.-studenter, 5 post doc-er og 2 deltidsansatte professorer fra Kjemisk institutt ved UiO.

Avdeling Reaktordrift som ligger under sektoren «Nukleærteknologi, fysikk og sikkerhet», driver JEEP II-reaktoren, brenselageret JEEP I stavbrønn og gammabestrålingsanlegget. I tillegg driver avdelingen Sporstoffteknologi som ligger under «Strømningsteknologi og miljøanalyse» med noe forskning knyttet til JEEP II.

1.3.1 NcNeutron

NcNeutron (Norsk Senter for Nøytronforskning/ Norwegian Center for Neutron Research) ble opprettet i 2016. Dette prosjektet har som mål å modernisere instrumentene knyttet til JEEP II-anlegget. Investeringene til NcNeutron programmet representerte de største investeringene ved JEEP II siden reaktoren ble bygget. Hovedaktiviteten til NcNeutron er bruken av nøytroner og nøytronspredning for utvidede undersøkelser på nye materialer. NcNeutron er også internasjonal samarbeidspartner for forsknings- og utviklingsprosjekter på dette feltet. NcNeutron er en del av nasjonal infrastruktur for forskning i regi av Forskningsrådet, sammen med SINTEF, Universitetet i Stavanger, Universitet i Oslo og NTNU deltar i NcNeutron. IFE er vertskap.

NcNeutron har mottatt finansiering fra Forskningsrådet fra 2016. Inkludert i dette var en totalinvestering på ca. 61 millioner kroner til JEEP II frem mot 2020. I 2018 ble det sendt søknad til Forskningsrådet for ytterligere infrastrukturmidler til NcNeutron (Fase II), inkludert bidrag til drift av NcNeutron i fem år. Det er argumentert for at NcNeutrons forskningsinfrastruktur vil «both present significant added value to existing users and attract new user groups to JEEP II».² Flere universiteter

² Project Description NcNeutron.

og bedrifter har støttet opprettelsen og fortsettelsen av NcNeutron. Hydro, Elkem, Norsk Titanium og Benteler er blant bedriftene som har støttet NcNeutron.³

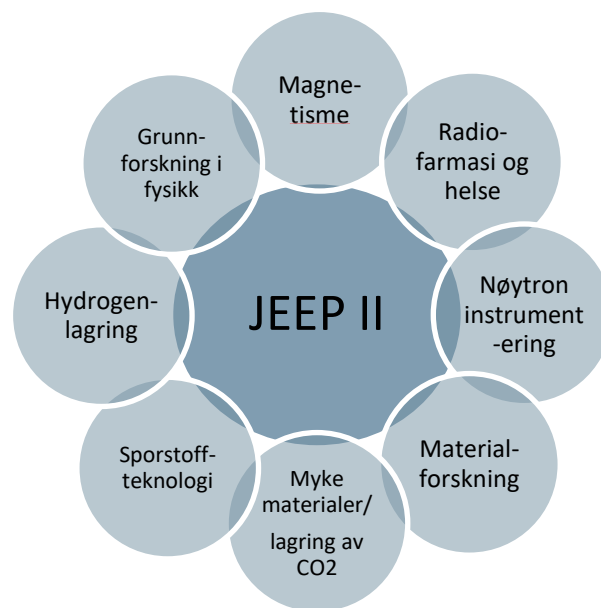
³ NcNeutron.no <https://ncneutron.no/our-partners/>

2. Forskingen ved JEEP II

Dette kapitlet belyser problemstillingene *Hva er de sentrale forskningsaktivitetene ved JEEP II?* og *I hvilken grad er JEEP II av betydning for IFEs øvrige forskning?* Kapitlet tar først kort for seg generelle trekk knyttet til forskningen ved reaktoren og hva nøytroner kan brukes til. Deretter blir forskning ved reaktoren belyst i et historisk perspektiv og diskutert mer detaljert.

2.1 Forskningsaktivitetene ved JEEP II

Figur 2: De mest sentrale forskningsfeltene ved JEEP II-reaktoren



Kilde: Oxford Research AS

Figur 2 viser en oversikt over forskningsfelt hvor JEEP II-reaktoren har vært et viktig verktøy. Grunnforskning i fysikk har alltid vært den mest sentrale forskningsaktiviteten ved JEEP II-reaktoren. Hva som kan gjøres ved en reaktor er avhengig av instrumentene knyttet til reaktoren. JEEP II-reaktoren har vært en sentral del av IFEs forskning innen blant annet materialforskning, strømningsteknologi, radiofarmasi og helse. Den har vært viktig for forskning på områder som for eksempel fornybar energi, myke materialer, energilagring og magnetisme. Hovedformålet til JEEP II har vært å produsere nøytroner og gjøre dem tilgjengelige for forskere.⁴ Nøytroner kan blant annet brukes til å gi informasjon om grunnstoffer og fungere som en ikke-destruktiv metode for å studere egenskaper i materialer. Nøytroner har en unik evne til å «se» lette grunnstoffer som for eksempel hydrogen og oksygen. Denne egenskapen gjør at nøytroner er nyttig for å kartlegge materialers egenskaper. Det gjør bruk av

⁴ IFE Årsrapport 2017

nøytroner til en unik metode, spesielt innen materialforskning og grunnforskning i fysikk. Røntgenstråling og elektrondiffraksjon er komplementære metoder til nøytroner, men de kan ikke, ifølge forskerinformantene i utredningen og evalueringen, erstatte nøytroner som metode.

Nøytroner fra JEEP II og PUS-instrumentet var helt avgjørende for å bestemme den korrekte strukturen, og det viste seg hydrogenatomene ordner seg etter et komplisert mønster. Arbeidet er et skoleeksempel på at strukturstudier med røntgenstråler alene kan gi feil konklusjon for materialer som inneholder både tunge og lette grunnstoffer.⁵

Det forskes også på reaktorsikkerhet, strålevern og dekommisjonering ved IFE Kjeller, og en hel infrastruktur rundt disse tre temaene er opprettet med bakgrunn i reaktoren.

2.1.1 Forskningsaktiviteter siden 1948

Fra Instituttet for Atomenergi (IFA) ble opprettet i 1948, gjennom navnebyttet til IFE på 1980-tallet og frem til i dag, har instituttet vært involvert i en rekke forskjellige forskningsaktiviteter. Flere av disse har vært knyttet til, eller har sprunget ut fra JEEP II-reaktoren på Kjeller. Forskning og kunnskap som har blitt opparbeidet ved reaktoren har videreutviklet seg til egne selvstendige forskningsområder ved IFE.

Atomreaktor og atomteknologi: Det sentrale forskningsområdet i årene etter at den første atomreaktoren ble bygget i Norge var atomenergi og mulige bruksområder for atomenergi. Fra 1958/59 ble atomskip lansert som et hovedsatsningsområde. Atomskip ble aldri realisert, og arbeidet ble lagt på is i 1965. Etter dette ble kraftreaktorprosjektet det nye store satsningsområdet. Målsettingen var å gjøre norsk industri i stand til å påta seg leveranser og konsulentoppdrag i forbindelse med kjernekraftutbygging. Den nukleære kompetansen og installasjonene knyttet til atomreaktorene ble også anvendt på andre områder. Brenselteknologi var for eksempel et område som hadde fokus en kort periode. Det førte til et samarbeid mellom IFA og Raufoss Aluminium om utvikling og produksjon av kapslingsrør.

Petroleumsindustrien: Et av de viktigste resultatene fra arbeidet med atomenergi, kjernekraftkunnskap og forsøk på å utvikle et atomdrevet skip var kompetanse på matematiske modeller, programvareutvikling, simulering og flerfaseteknologi. De digitale løsningene som først ble utviklet i forbindelse med drift og forskning på atomreaktoren, ble senere videreutviklet til andre prosjekter. Det var allikevel innenfor petroleumsindustrien denne kunnskapen hadde størst betydning, og da spesielt i utvikling av flerfaseteknologi og dataprogrammene Olga og Wolga. Flerfasestrømning er transport av gass, væske og eventuelt faste stoffer i et felles rør. Det var blant annet gjennom arbeidet med atomskipprosjektet at IFE tilegnet seg spesialkompetanse på tofase (vann/damp) strømning. I tillegg brukte IFE spesialkunnskapen og spesialkompetansen ervervet gjennom erfaringen fra JEEP reaktoren på å engasjere reservoarmodellering, prosessautomatikk, korrosjonsproblemer, og gassmåler-teknikk.

⁵ Fra IFE sin selvevaluering, beskrivelse av artikkelen *Crystal structure, polymorphism, and thermal properties of yttrium borohydride Y(BH₄)₃*. C. Frommen, N. Aliouane, S. Deledda, J.E. Fonnelop, H. Grove, K. Lieutenant, I. Llamas-Jansa, S. Sartori, M.H. Sorby, B.C. Hauback, J. Alloys Comp., 496 (2010) 710-716 (2010).

I løpet av 1980-tallet utviklet petroleumsforskningen seg til å bli det største satsningsområdet for IFE-Kjeller. I 2012 ble flerfaseteknologien kåret av Aftenposten som den viktigste norske oppfinnelsen siden 1980.⁶ Flerfaseteknologien ble skapt av forskerne på IFE og SINTEF i Trondheim. Fra IFE kom kunnskapen om flerfase fra fagmiljøet som hadde vært involvert i reaktordrift og spesielt atom-båtprosjektet.⁷ Da Norge begynte å utvinne olje fra Nordsjøen på 1970-tallet måtte det være en plattform på hvert eneste felt. Flerfaseteknologien gjør at man i stedet for å bygge ny plattform for hvert felt kan føre olje og gass i samme rør i havbunnen og frem til nærmeste plattform. Den har gjort det mulig å utvinne mer olje fra mindre felt til lavere kostnader. Teknologien gjør det tryggere for arbeiderne fordi mange flere av dem nå kan oppholde seg på land. Samtidig medfører flerfaseteknologi mindre inngrep på naturen og er mer miljøvennlig.

Datamodellen OLGA la grunnlaget for flerfaseteknologien. Denne ble utviklet ved IFE allerede på slutten av 70-tallet. Formålet med OLGA var å utvikle en modell som kunne beregne strømmingen av vann, olje og gass mellom brønnene og plattformen - og hvordan den endret seg langs ledningen med tiden. Flerfaseteknologien er et eksempel på at langsiktig forskning lønner seg. Verdien av teknologien er vanskelig å tallfeste, men den har bidratt til å skape verdier for hundretalls av milliarder av kroner. Nå bruker oljeselskaper over hele verden den norskutviklede teknologien, samtidig har de bidratt til et oppsving for norsk leverandørindustri.

Radioaktive isotoper. Produksjon av radioaktive isotoper startet ved JEEP I reaktoren i 1952. Byggingen av JEEP II bidro til å øke produksjonskapasiteten på radioisotopområdet. På midten av 70-tallet ble atomreaktoren på Kjeller også tatt i bruk til bestrålingsteknologiske formål. Isotopvirksomheten foregikk på tre hovedfelter: isotopforsyning, isotopanvendelser og bestrålingsteknikk. Isotopforsyning, som er fremstilling, import, kontroll, og salg av radioaktive legemidler, samt FoU-arbeid for utvikling av nye radioaktive preparater, var lenge det største av radioisotopområdet ved JEEP II.

Som en del av det radioisotopiske forskningsområdet hører også nøytronbestråling, eller doping, av silisiumkrystaller inn. Gjennom dette blir små mengder inaktivt fosfor fremstilt i silisiumkrystaller. Fosforisert silisium var et nøkkelprodukt i fremstillingen av halvledere til elektronisk industri. IFA begynte med nøytronbestråling i 1975 og etterspørselen vokste raskt i årene etter. Nøytronbestråling har ved Kjeller også blitt brukt til å fremstille radiokjemikalier og strålekilder for industrielle- og vitenskapelige formål.

Grunnforskning i fysikk. Nøytronfysikkgruppen, som grunnforskerne i fysikk ved IFE tidligere ble omtalt som, drev i hovedsak eksperimentelle studier i faste stoffers og væskers struktur og dynamikk ved hjelp av nøytronstråler fra JEEP II. I 1971 arrangerte IFE det første «Geilo School» seminaret i fysikk. Seminaret har vært arrangert annethvert år siden, og har siden 1971 samlet over 1500 deltagere fra 30 land. Arbeidsfeltet for nøytronfysikkgruppen har inkludert bestemmelser av magnetiske strukturer ved hjelp av nøytronspredning, studiet av dynamiske egenskaper i magnetiske og u-magnetiske stoffer og spinndynamikk. Tre av de fem norske bidragene i boken «Twentieth Century Physics» har vært knyttet til Nøytronfysikkgruppen ved IFE. Nøytronfysikkgruppen oppnådde fra 1970-tallet og en stigende

⁶ Aftenposten.no <https://www.aftenposten.no/okonomi/i/Xgle7/Rorene-gjorde-oljeeventyret-mulig>

⁷ Njølstad, O. (1999). Strålende forskning: Institutt for energiteknikk 1948-1998. Tano Aschehoug.

anerkjennelse i akademiske miljøer, både i Norge og i utlandet.⁸ I forbindelse med utviklingen av metoder for nøytronmaterialkarakteristikk ved IFE ble NcNeutron etablert i 2016.

2.1.2 Sentral forskning i dag

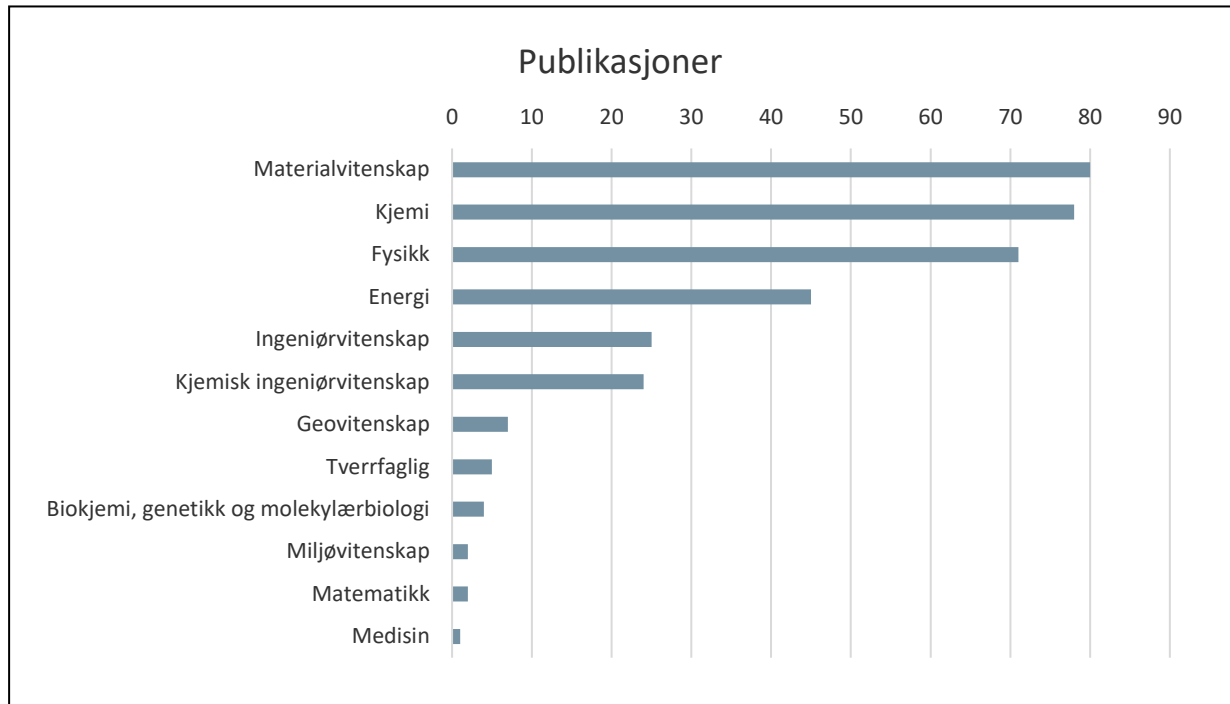
JEEP II har vært en av de mindre nøytronkildene i Europa. Det har bidratt til at forskningsmiljøet knyttet til reaktoren har valgt å satse på noen tematiske områder. Dette strategiske grepet er noe som de fleste mindre reaktorene i Europa har valgt. For IFE har fokusområdene først og fremst vært knyttet til fornybar energi, energilagring og miljø og flere av temaene har det vært forsket på over lengre perioder ved IFE. Spesielt hydrogenlagring har vært et område hvor IFE har hatt et kunnskapsmiljø over flere tiår, selv om mengden forskning på temaet har variert.⁹ Bruken av JEEP II har vært relevant for både forskere innen fysikk (for eksempel ved NTNU) og forskere innen kjemi (for eksempel ved UiO).

Dagens nøytroninstrumentering i JEEP II-reaktoren er primært rettet mot grunnforskning og grunnleggende forståelse av materialers kvaliteter og egenskaper hvor bruk av nøytroner er sentralt. Spesielt karakterisering av materialer og forskning på hvordan materialer oppfører seg i ulike settinger har vært et viktig bidrag ved JEEP II-reaktoren. Et av resultatene fra forskning ved JEEP II-reaktoren er publisering av artikler i fagfelleverderte tidsskrifter. Tematikken og tidsskriftenes fagfokus som artiklene er innenfor, illustrer hvilke fagfelt som JEEP II-reaktoren har hatt betydning for. Figuren under viser en oversikt over antallet artikler innenfor spesifikke fagfelt. Figuren viser at reaktoren har vært spesielt viktig for publisering av forskningsartikler innenfor materialvitenskap, fysikk og astronomi og kjemi.

⁸ Njølstad, O. (1999). Strålende forskning: Institutt for energiteknikk 1948-1998. Tano Aschehoug.

⁹ Selvevaluering IFE.

Figur 3: vitenskapelige publikasjoner fordelt på fagfelt 2008 - 2017



Kilde: Oxford Research AS

2.1.2.1 Avdeling Nøytron materialkarakterisering (materialforskning og nanovitenskap):

Forskningsområdene i avdelingen som i dag omtales som «Avdeling Nøytron» (tidligere fysikkavdelingen) er materialforskning og nanovitenskap. Hovedaktivitetene til Nøytron-avdelingen inkluderer blant annet «myke» materialer, materialer for lagring av hydrogen, batterimaterialer, magnetisme og magnetiske materialer. I tillegg driver avdelingen med utvikling og konstruksjon av nøytroninstrumentering. I 2018 sto avdelingen Nøytron for over 20% av artiklene publisert av IFE.¹⁰

I avsnittene under følger en utvidet forklaring på noe av det som har vært de mest sentrale forskningsområdene for Avdeling Nøytron de siste årene.

Materialer for lagring av hydrogen: IFE har forsket på hydrogenlagring siden midten av 1950-tallet og de har hatt en internasjonal ledende stilling innen feltet materialer for lagring av hydrogen, spesielt metallhydrid, de siste 15-20 årene. JEEP II har blitt brukt til å bestemme struktur (hvor atomene er) for veldig mange metallhydrid. Den internasjonale rollen avdeling Nøytron har hatt innen hydrogen og hydrogenlagring illustreres og gjennom at avdelingen har hatt en sentral rolle i 17 EU-prosjekter innen fagfeltet siden 2002. Kunnskapen fra denne materialklassen har også blitt brukt til å utvikle kompetanse og aktiviteter innen batterifeltet, smarte vinduer og hydrid-baserte kompressorer ved

¹⁰ Selvevaluering IFE

IFE.¹¹ Hydrogen er et stort forskningsfelt i Japan, og Toyota produserte sin første hydrogen-bil i 2014. IFE har også samarbeidet med Japan på forskning innen hydrogenlagring.

Artikkelen «Metal aluminum amides for hydrogen storage – Crystal structure studies» er et resultat av et samarbeid mellom IFE og Universitetet i Hiroshima, hvor IFE bidro med nøytroner fra JEEP II for å bestemme den atomære strukturen til 4 nye metall-aluminium-amider.¹²

Magnetisme og magnetiske materialer: Bruk av nøytroner er en av de viktigste metodene for å kartlegge og forstå magnetisme. Magneter er brukt i for eksempel biler og vindmøller, men mange av disse magnetene avhenger av sjeldne jordartsgrunnstoffer som primært befinner seg i Kina. Det betyr at Kina har stor kontroll over både tilgang og pris, og det har i Europa vært sett på som viktig å utvikle magneter uten disse grunnstoffene. De siste fem årene har det derfor blitt satt i gang flere EU prosjekter på temaet, blant annet AMPHIBIAN – Anisometric permanent hybrid magnets based on inexpensive and non-critical materials, hvor IFE deltar.¹³ Avdelingen Nøytron har de siste årene vært partner i tre EU-prosjekter innen dette feltet.¹⁴ Avdeling nøytron har også et pågående prosjekt som utforsker bruk av magneter til å kjøle, noe som er mye mer miljøvennlig og effektivt, enn det som i dag brukes i for eksempel kjøleskap og varmpumper.

I artikkelen «High concentration aqueous magnetic fluids: structure, colloidal stability, magnetic and flow properties» ble nøytroner fra JEEP II (SANS) bruk for å vise hvordan nye magnetiske væsker med usedvanlig sterk magnetisering organiserer seg på nanometer-skala. Ved bruk av nøytroner i dette arbeidet var det mulig å få informasjon som er direkte relevant for praktiske anvendelser.¹⁵

Myke materialer: Dette forskningsfeltet omhandler materialer som er lett formbare og som kan kontrolleres med ytre stimuli. Disse materialene består ofte i hovedsak av lette atomer og nøytronspredning er derfor en uunnværlig metode for å kartlegge strukturen til disse materialene. Avdeling nøytron har ledet et, og vært partner i et EU-prosjekt, på dette feltet, i tillegg til deltagelse i to EU COST-nettverk. JEEP II har også vært aktuell i forbindelse med forskning på CO₂-lagring i for eksempel leire.¹⁶

Vi har også et spennende prosjekt sammen med NTNU på leire. Det fine med leire er at det er en struktur hvor man har mye plass til å lagre andre stoffer, for eksempel CO₂, inne i det faste

¹¹ Selvevaluering IFE

¹² Selvevaluering IFE, omtale av artikkelen *Metal aluminum amides for hydrogen storage – Crystal structure studies*. S. Hino, H. Grove, T. Ichikawa, Y. Kojima, M.H. Sørby, B.C. Hauback. Int. J. Hydrogen Energy, 40 16938-16947 (2015).

¹³ IFE.no <https://ife.no/en/project/amphibian-anisometric-permanent-hybrid-magnets-based-on-inexpensive-and-non-critical-materials/>

¹⁴ Selvevaluering IFE.

¹⁵ Selvevaluering IFE, omtale av artikkelen *High concentration aqueous magnetic fluids: structure, colloidal stability, magnetic and flow properties*. C. Vasilescu, M. Latikka, K.D. Knudsen, V.M. Garamus, V. Socoliuc, R. Turcu, E. Tombácz, D. Susan-Resiga, R.H.A Ras, L. Vékás. Soft Matter 14, 6648-6666 (2018)

¹⁶ Selvevaluering IFE

materialet [...]. Når det første er der så blir det der, og for å forstå hvordan de materialene er så trenger man nøytroner. Og der har også JEEP II blitt brukt.

Bjørn Hauback, IFE

2.1.2.2 Annen forskning knyttet til reaktoren

Selv om den primære forskningen ved JEEP II har vært knyttet til grunnforskning i fysikk med hjelp av nøytroner, har reaktoren også spilt en rolle for andre forskningsområder. Reaktoren har for eksempel blitt brukt til produksjon av ulike isotoper for medisinsk forskning og industrielle formål. Reaktoren har derfor vært viktig for IFEs FoU-virksomhet på områder som medisin, olje og gass. I tillegg har reaktoren ført til at en hel infrastruktur innen strålevern og sikkerhet har blitt etablert ved IFE.¹⁷

Bruk av reaktoren til medisinsk og biologisk forskning: JEEP II og kunnskapsmiljøet rundt reaktoren har vært knyttet til medisinsk forskning innen utvikling av radiofarmasøytisk materiale, og nøytroner fra reaktoren har blitt brukt for å karakterisere materiale som har relevans biologi og helse. Det er spesielt på det siste området at det er forventet at nøytronforskning kan ha stor påvirkning fremover, og hvor det var planer for økt bruk av JEEP II før nedleggelsen av reaktoren. Reidar Lund ved UiO forteller at;

Jeg tror det er veldig utaktisk å bremse ned eller gire ned på bruk av nøytroner nå, fordi det har gått en vei hvor du før bare kunne måle på materialer, nå kan, i større og større grad, se på andre systemer og prosesser innenfor biologi og medisin.

Reidar Lund, UiO

JEEP II har også blitt brukt til å utvikle og produsere radionuklider for medisinsk bruk. I perioden 2015-2018 hadde IFE et tverrsektorielt internprosjekt som resulterte i oppbygging av et produksjonssystem for radionukliden Terbium-161. Denne kan brukes til behandling av metastasert kreft samtidig som den gir begrenset stråling til friske organer.¹⁸ I tillegg til IFE er PSI i Sveits eneste forskningsinstitutt som driver med produksjon av Terbium-161. I selvevalueringen kommer det frem at;

Det har vært utført 14 bestrålinger i JEEP II, noe som har gitt ca 3 GBq Terbium-161 per bestråling. Terbium-161 ble levert til interne og eksterne (Radiumhospitalet og Universitetet i Oslo) prosjekter for cancer-målsøkere og testet i relevante cancercelle-modeller.¹⁹

¹⁷ Årsrapport 2017

¹⁸ Nrk.no www.nrk.no/ostfold/utvikler-medisin-mot-kreft-med-spredning-1.12276896

¹⁹ Selvevaluering IFE

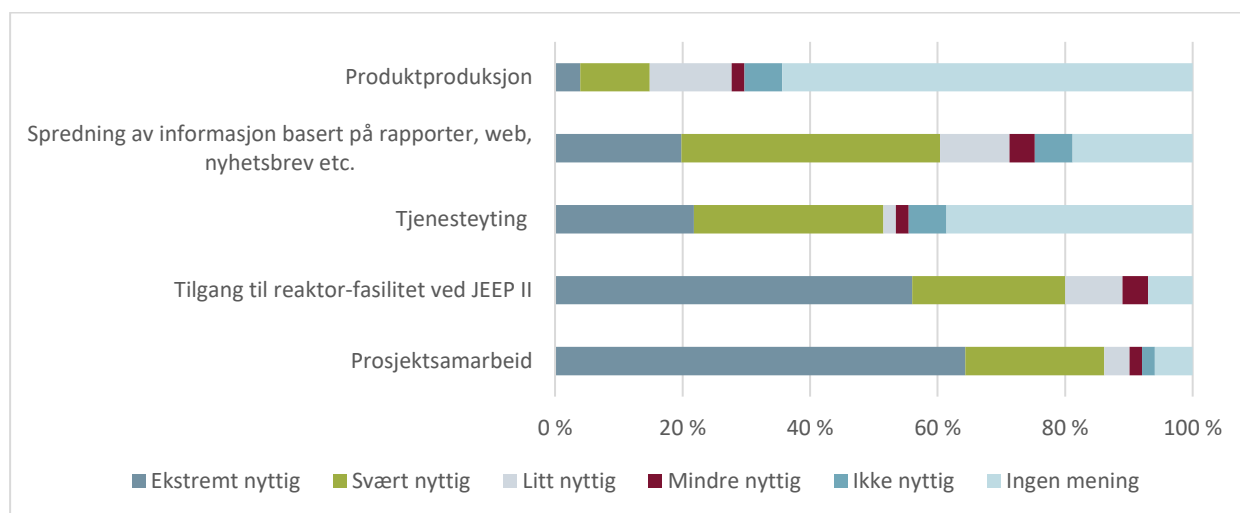
Sporstoffteknologi / Tracer komponenter: Isotoper produsert ved JEEP II har også vært brukt til industrielle radioaktive kilder og tracere. Petroleumsforskerne har for eksempel brukt denne metoden for å se på lekkasjer og til sporing av olje og gass i norske reservoarer. I geotermisk sektor og i oljesektoren har kortlivede radioaktive isotoper produsert ved JEEP II blitt brukt for å se på mineralutfelling, med mål om å hindre at dette fører til nedsatt produksjon av olje. Kortlivede radionuklider har også blitt brukt i studier og optimalisering av industrielle prosesser.

2.1.3 Reaktorens rolle for øvrig forskning på IFE

Flere av forskningsfeltene som begynte, eller som har hatt sterk tilknytning til JEEP II, har utviklet seg videre og blitt til egne selvstendige avdelinger ved IFE. Disse avdelingene har hatt forskning eller kunnskap knyttet til JEEP II som grunnlag for etableringen av nye avdelinger på IFE, men de har siden utviklet seg til selvstendige enheter som ikke nødvendigvis er avhengig av reaktoren i dag.

Eksempler på dette inkluderer for eksempel områder relatert til stråling, radioaktivitet og doser, hvor JEEP II har vært avgjørende for at IFE har bygd opp kunnskap. Denne kunnskapen la grunnlaget for at det har blitt utviklet et medisinalmiljø på IFE som i dag blant annet produserer kreftmedisinen «Xo-figo». Kunnskapen som har kommet fra forskningen knyttet til JEEP II på hydrogen har også videreutviklet seg og i 2014 etablerte IFE en ny strategisk satsning på hydrogen i maritim sektor under avdelingen «Fornybare energisystemer». JEEP II har også vært viktig for verkstedet på IFE, som blant annet har bidratt i bygging av instrumenter til reaktoren.

Figur 4: Hvor viktig mener du at JEEP II har vært i de siste fire år innen følgende områder? (I prosent, N= 54)



Kilde: Oxford Research AS

2.1 Vitenskapelig publisering i perioden 2008-2017

Et viktig utkomme av både grunnforskning og anvendt forskning er forskningsresultater presentert i fagfelleverderte tidsskrifter. En forståelse av IFEs betydning for forskning- og kunnskapsutvikling

nasjonalt og internasjonalt får man ved å sammenligne IFE med resten av de teknisk-industrielle instituttene i den norske instituttsektoren.

Publikasjonspoeng er en indikator på både omfang og kvalitet i vitenskapelig kunnskapsproduksjon. Denne brukes fordi man ville fått oppblåste tall dersom antall publikasjoner for hver institusjon hadde blitt summert opp. Siden det er vanlig med samarbeid på tvers av institusjoner, ville hver publikasjon telles mange ganger. Dermed blir hver institusjon kreditert ut fra andelen av forfatterne av publikasjonen som har adresse ved institusjonen.²⁰

Videre vektes publikasjonstallene ut fra publikasjonsform, altså ut fra om det er en artikkel i et vitenskapelig tidsskrift, artikkel i antologi eller en monografi. Til sist vektes den etter kvalitetsnivået til publiseringskanalen, som består av to nivåer: Nivå 1 er en vitenskapelig publiseringskanal (med rutiner for fagfellevurdering), og Nivå 2 er en vitenskapelig publiseringskanal med *særlig høy prestisje*. Dette bedømmes årlig av en lang rekke fagorganer underlagt Universitets- og høskolerådet innenfor fire fagområder. Det nasjonale publiseringsutvalget har det faglige ansvaret for nominering og godkjenning av nominasjoner til nivå 2. Neste tabell viser hvordan publikasjonstallene vektes ut fra disse hensynene.

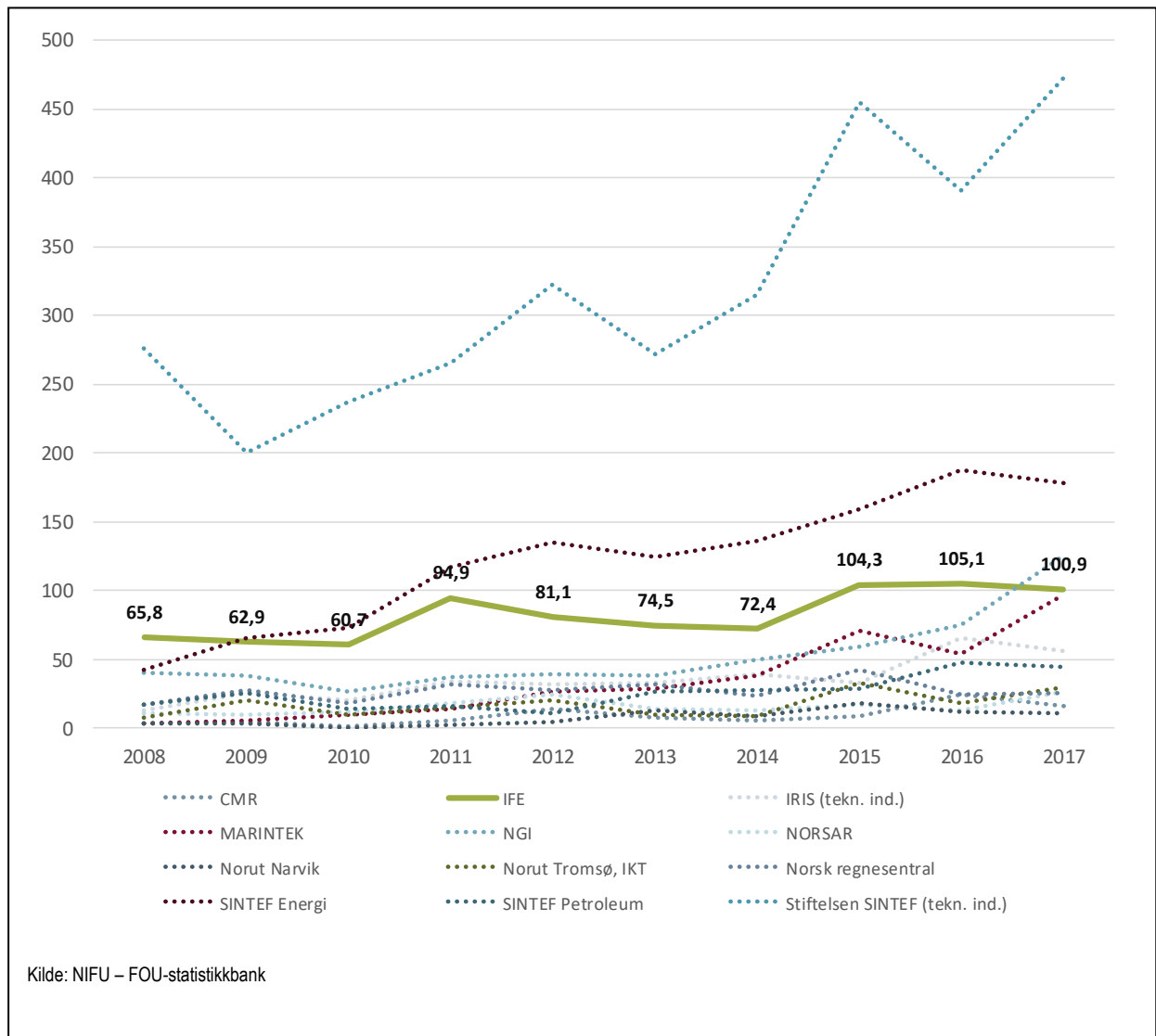
Tabell 2: Vekting av publikasjoner ut fra publikasjonsform og kvalitetsnivå

Publikasjonsform	Nivå 1	Nivå 2
Artikler i vitenskapelige tidsskrift	1	3
Artikler i antologier	0,7	1
Monografier	5	8

I neste figur tydeliggjøres det at IFEs posisjon i kunnskapsmiljøet knyttet til nøytronspredning er plassert i det øvre sjiktet hva gjelder publikasjonspoeng for tidsskriftartikler. Kun SINTEF (tekn. ind. og energi) har gjennomgående flere publikasjonspoeng. Andelen publikasjonspoeng som er knyttet til publisering på Nivå 2 varierer fra 43,5 prosent til 60,5 prosent gjennom perioden med et gjennomsnitt på 51,6 prosent. Dette er en høyere snittandel enn SINTEF, og den femte høyeste blant de teknisk-industrielle instituttene. Det er også vært å påpeke at svingningene fra år til år er lavere for IFE enn de instituttene som har høyere snittandel.

²⁰ For mer informasjon om beregningsmetoder se: <https://npi.nsd.no/informasjon>

Figur 5: Publikasjonspoeng for IFE og de teknisk-industrielle instituttene 2008-2017



Samtidig som at IFE har en høy produksjon av fagfellevurderte artikler, er IFE blant de av de norske instituttene som har hatt flest årsverk utført av faglig og vitenskapelig personale²¹ i perioden 2008-2017 (tabell 3):

²¹ Personer med mastergrad, hovedfag eller tilsvarende realkompetanse som fungerer som forskere: <https://www.nifu.no/wp-content/uploads/2018/06/N%C3%B8kkeltallveiledning-2017.pdf>

Tabell 3: Årsverk utført av faglig og vitenskapelig personale i perioden 2008-2017

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
SINTEF (tekn. ind.)	880,6	839	762	751,1	766,5	739,9	748,1	718	738,7	687
IFE	204	211	213	213	226	214	179	198	243	254
NGI	170	175	178	179	181	186	190	162	175	186
SINTEF Energi	135,5	151	163,8	162,2	165,6	166,6	175,9	170,6	161,6	167
MARINTEK	124	117	113	117	116	120	125	108	106,7	133,9
IRIS (tekn. ind.)	110,6	112,6	103,3	99,6	93,7	93,3	104,8	100,6	98,4	98,1
SINTEF Petroleum	99,1	95,3	98,3	100,2	91,6	82	76,9	78,3	73,7	64,9
Norsk regnesentral	59,5	57	55,8	56	58	57,6	53	52,7	55,2	59,3
CMR	42,3	49,2	46,1	48,8	51	53,6	60,5	53,6	44,1	44,4
Norut Tromsø, IKT	24,2	24	26,2	26,2	29,9	31,4	33,7	32,7	35,8	38,1
NORSAR	30,4	28,9	29,2	28,8	26	24,1	27,5	26,9	26,5	25,7
Tel-Tek	23	29	34	31,7	26,5	25,5	22	20,6	20,3	21,1
Uni Research (tekn. ind.)	-	-	-	-	-	-	59,7	56,8	56,6	52,7
Norut Narvik	17	19,3	21,6	28,1	28	23,7	16,3	14,8	16,2	15,3

Kilde: NIFU – FoU-statistikk

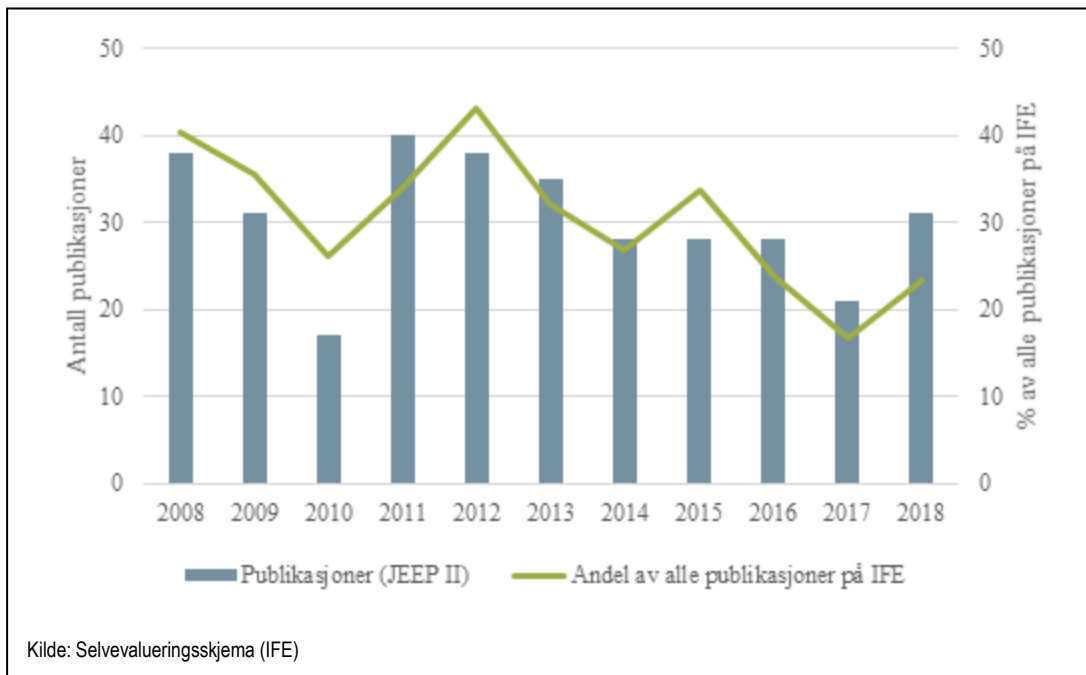
I utredningsarbeidet er det forsøkt å isolere de av publikasjonene til IFE som ikke ville blitt realisert uten JEEP II-reaktoren, enten direkte ved at forskningsinfrastrukturen ble brukt til å gjennomføre eksperimenter, eller indirekte ved at personellet som utførte forskningen sannsynligvis ikke ville vært engasjert ved IFE uten at reaktoren eksisterte.

Ifølge IFE²² har totalt 63 forskere ved IFE brukt JEEP II aktivt i sin forskning i perioden 2008-2019. Fra år til år har antallet forskere som har brukt JEEP II-reaktoren i egen forskning variert mellom 20 til 30 forskere. Det vil si mellom 10 og 12 prosent av det samlede faglige og vitenskapelige personellet ved IFE. Neste figur viser publikasjonsvolumet for avdeling Nøytron i perioden 2008-2019. Disse er de primære brukerne av JEEP-II. Samtidig er det noen flere forskere utenfor avdelingen som også bruker den. Til sammen har avdeling Nøytron publisert mellom 17 og 40 fagfelleverderte artikler per år. Det utgjør mellom 17 og 43 prosent, avhengig av hvilket år man ser på, av alle publikasjonene ved IFE. Publiseringssrater kan svinge en del fra år til år, både på grunn av tidsskriftenes fagfellevurderings- og publiseringssprosesser og på grunn av at artikler ligger på vent hos forskerne selv. Dersom alle

²² Ifølge selvevalueringsskjemaet er det per mars 2019 ni forskere ved avdeling Nøytron som er fast ansatte ved IFE, hvorav to har «omvendt professor II-stilling» ved UiO med henholdsvis 12 % og 20 % stillingsandel på IFE og tre har professor II stillinger ved UiO og NTNU, med 100 % stillingsandel på IFE. I perioden 2008-2019 har det ved samme avdeling vært tilsatt til sammen 40 personer i post-doc og midlertidige forskerstillinger, hvor antallet har variert fra omkring 7 til 16 fra år til år. Videre har til sammen ni PhD-studenter vært ansatt, i perioden, fra 1-3 per år. Ved avdeling REAK, SPORSTOFF og VERN har ytterligere fem forskere vært involvert med reaktorbasert forskning.

forskere som er tilsatt ved IFE var like produktive, skulle man forvente at 10-12 prosent av forskerne produserte 10-12 prosent av publikasjonene. Imidlertid har de publisert mellom 5 og 31 prosentpoeng flere artikler enn dette. Disse forskerne har dermed publisert en større andel av de fagfellevurderte artiklene ved IFE enn det man skulle forvente gitt andelen som de utgjør totalt av personellet.

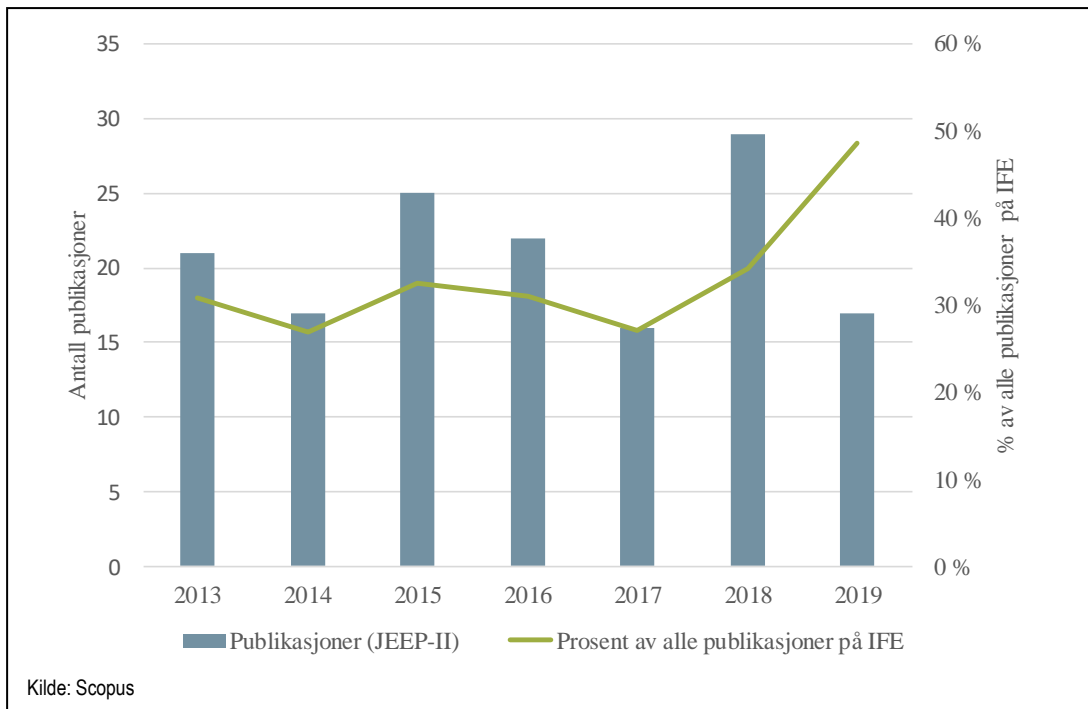
Figur 6: Publikasjoner i fagfellevurderte tidsskrift som var avhengige av JEEP-II som andel av publikasjoner for IFE totalt (Selvevaluering)



For å se på publikasjonsvolumet til *alle* forskerne som bruker JEEP-II, har vi brukt Scopus (se vedlegg for nærmere metodisk beskrivelse). I neste figur ser vi hvor mange fagfellevurderte artikler disse publiserte i perioden 2013-2019, totalt 147 artikler. Vi ser også her hvilken andel dette utgjorde av IFEs totale antall publiserte artikler. I tidsrommet som overlapper, 2013-2018, er det et lavere antall artikler som er indeksert i Scopus (130) enn antallet artikler som IFE har oppgitt å publisere (171). Dette er fordi Scopus ikke dekker alle vitenskapelige tidsskrift I Scopus-tallene står likevel forskerne som brukte JEEP-II for en større andel av artiklene enn i publikasjonstallene som IFE oppgir i samme tidsrom. Forskjellene er på om lag 2-8 prosentpoeng.

For å vurdere hvilken innflytelse forskningen ved IFE har hatt på øvrig internasjonal forskning har vi tatt utgangspunkt i disse publikasjonene og undersøkt hvor mye de er blitt sitert. Se delkapittel 4.4.2. for en nærmere beskrivelse av dette.

Figur 7: Publikasjoner i fagfellevurderte tidsskrift som var avhengige av JEEP-II som andel av publikasjoner for IFE totalt (Scopus)



2.2 Evaluators vurdering

Neutrons do what neutrons do well, nothing else really replaces them. Robert McGreevy, ISIS

Dette kapitlet har redegjort for de sentrale forskningsaktivitetene ved JEEP II. Nøytronspredning er en unik forskningsmetode som pr. i dag ikke kan erstattes med andre metoder. Metoden er nyttig for å se lette grunnstoff og er en ikke-destruktiv metode i materialforskning. Det er få indikasjoner som tyder på at denne metoden blir mindre relevant fremover, men heller at bruk av nøytroner som forskningsfelt øker i både hva som er mulig å gjennomføre og i hvilke områder denne forskningen kan anvendes. Det er evaluators vurdering at med avviklingen av JEEP II, mister Norge en viktig del av infrastruktur for forskning. Det gjør at man nå står i fare for at et viktig forsknings- og kompetansemiljø forvitrer. Evaluator vurderer at denne utviklingen gjør at Norge står i fare for å ikke kunne opptre eller være tilstede på arenaer der store gjennombrudd i samfunnsutviklingen kommer innenfor områder som nye energikilder, hydrogenlagring, radiofarmasi, magnetisme og så videre. Radikale innovasjoner krever forutsetninger for å kunne forskes på, så vel som tverrfaglighet og læring mellom ulike sektorer.

Det er spesielt innenfor materialforskning og materialkarakterisering at JEEP II har vært sentralt. Avdeling Nøytron har vært plattformen for denne forskningen. Selv om det er i denne avdelingen at

JEEP II er det sentrale verktøyet, er reaktoren også en viktig bit av infrastrukturen for forskning ved IFE og andre internasjonale forskningsmiljøer. Ut fra JEEP II har det vokst frem flere forskningsområder som i dag er utviklet til selvstendige forskningsfelt og avdelinger. Disse aktørene benytter seg også av forskningsresultater fra JEEP II, og er oppdragsgivere for eksperimenter, forsøk og undersøkelser ved reaktoren. Selv om JEEP II er viktig for et større antall forskere enn de som er direkte knyttet til JEEP II, har forskningsresultatene et stort nedslagsfelt i samfunnsutviklingen og har bidratt til store gjennombrudd innen sektorer som olje og gass og helse.

Bibliometriundersøkelsen viser at IFE miljøet og avdeling Nøytron er internasjonalt anerkjent forskningsmiljø og en attraktiv prosjektpartner. Selv om store deler av Norsk og utenlandsk industri har dratt store fordeler og nytte av kunnskap utviklet ved JEEP II, har det vært få forskningsprosjekter ved JEEP II på bestilling fra industri. Det er evaluators vurdering at det er stor sannsynlighet til å anta at grunnforskning ved JEEP II gir et større potensial for mer anvendt forskning og FoU i flere sektorer. Kunnskap utviklet ved JEEP II har et stort anvendelsespotensial flere steder. Nøytroner er viktig for det grønne skiftet og forskning på mer bærekraftige materialer. Nøytronspredning og isotoper kan også ha en økende rolle innenfor utvikling av medisiner og forståelse for biologiske prosesser i fremtiden.

Utredningen viser at norske forskningsinstitusjoner har nyttiggjort seg av JEEP II både som infrastruktur for egen forskning, men også som kunnskapsnav i nøytron- og isotoporientert forskning. Utredningen viser samtidig at miljøet ved IFE har tette relasjoner til liknende internasjonale forskningsmiljø. Når JEEP II-reaktoren nå er stengt må brukere knytte seg til alternative nøytronkilder. En utfordring er imidlertid tilgangen til nøytronkilder og nøytrontørken i Europa. Med nedstengingen av JEEP II mister de norske aktørene en viktig bit av infrastrukturen for gjennomføring av tesing, undersøkelser og forsøk med bruk av nøytroner. Før man søker forskningstid i større nøytronanlegg, er de norske forskerne avhengige av å kunne trene og gjennomføre forskningsforsøk ved mindre nøytronkilder. De norske aktørene som direkte eller indirekte har vært brukere av JEEP II, fremhever nettopp lav terskel for tilgang til JEEP II-fasilitetene som en av reaktorens største fordeler. Evaluator vurderer at viktigheten av den forskningen, vitenskapen og kompetansen som har kommet ut fra JEEP II-reaktoren, både for IFE og andre aktører, bør sikres forutsetninger for videre utvikling.

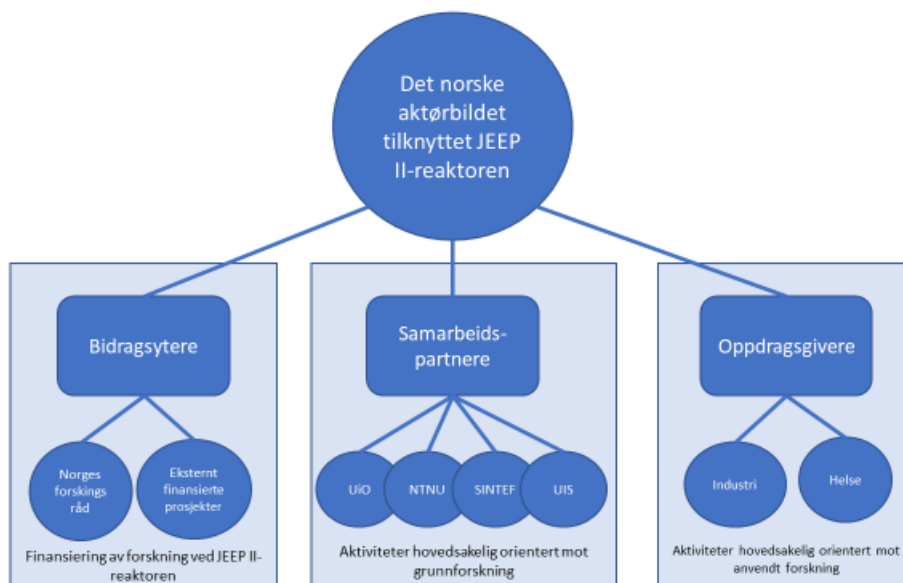
3. Det norske aktørbildet og nasjonal betydning

Dette kapitlet beskriver aktørbildet tilknyttet Kjeller-reaktoren. Beskrivelsen av aktørbildet omfatter samarbeidspartnere, bidragsytere og oppdragsgivere rundt forskningen ved JEEP II. I likhet med beskrivelsen av forskningsaktivitetene i kapittel 2, belyser kartleggingen av aktørbildet spørsmål som i stor grad dreier seg om reaktorens betydning for ulike typer aktører. Kapitlet skal gi svar på problemstillingene:

- *Hvordan anvender norske forskningsinstitusjoner JEEP II og nyttiggjør seg av forskning knyttet til JEEP II?*
- *Hvilke eventuelle andre miljøer bruker kunnskapsmiljøet ved JEEP II-reaktoren, herunder UD's internasjonale prosjekter innenfor atomsikkerhet?*
- *Hva er betydningen av reaktordriften for nasjonal atomberedskap?*
- *Hva er betydningen reaktordriften har for fremtidig norsk nukleær kompetanse?*

Det norske aktørbildet tilknyttet JEEP II-reaktoren består av bidragsytere, samarbeidspartnere og oppdragsgivere. Figur 8 viser en oversikt over de viktigste aktørene.

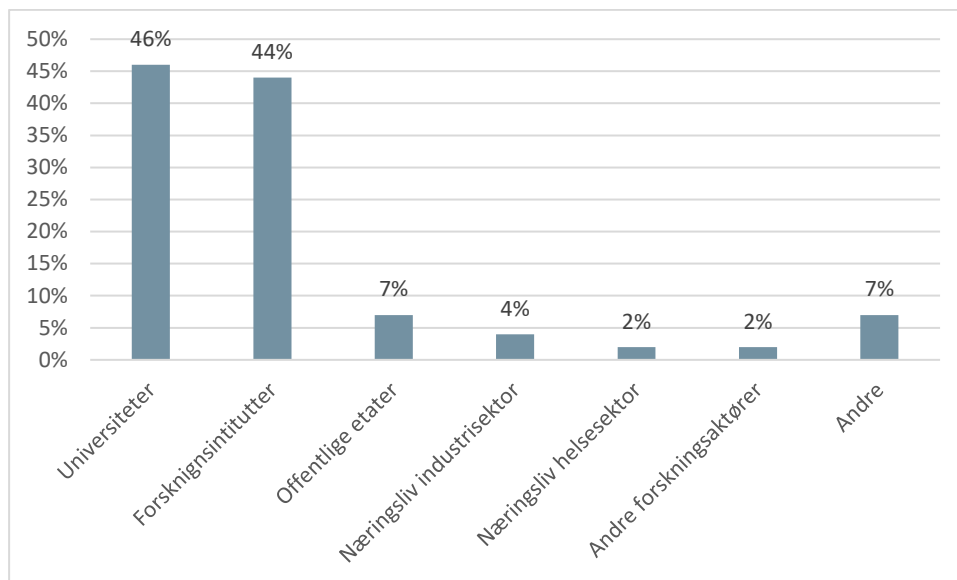
Figur 8: Aktørbildet rundt JEEP II-reaktoren



Kilde: Oxford Research AS

Hvordan aktørbildet rundt JEEP II er kan også gjenspeiles i brukerundersøkelsen. Figuren under viser at det er flest respondenter i surveyen fra universitet- og forskningsmiljøer. Dette stemmer godt overens med svarene som kom frem i de kvalitative intervjuene.

Figur 9: Deltakerne i brukersurvey



Kilde: Oxford Research AS

3.1 Bidragsyterne

Forskningsaktivitetene i avdeling Nøytron har to hovedkilder for finansiering; i) bidrag fra IFEs basisbevilgning fra Norges forskningsråd og ii) eksternt finansierte prosjekter.

3.1.1 Forskningsrådets basisbevilgning

Inntil 2014 fikk IFE tildelt en øremerket bevilgning til «Nukleær virksomhet på Kjeller» i tillegg til grunnbevilgning/basisbevilgning til IFE. Tildelingen til «Nukleær virksomhet på Kjeller» var basert på foringer fra Nærings- og handelsdepartementet. Etter 2014 er det gitt en samlet basisbevilgning fra Norges forskningsråd til IFE og inkluderer midlene til den nukleære virksomheten på Kjeller. Bevilgningen til avdeling Nøytron fra basisbevilgningen har årlig vært rundt 15 mill. kr. årlig etter 2013. Bevilgning til drift av reaktoren, det vil si avdeling REAK, har årlig vært omentrent på 20 millioner kroner. Opprinnelig finansierte disse midlene lønnsmidler til fast stab og andel av driftsmidler i avdeling Nøytron.

3.1.2 Eksterne prosjekter Nøytron etter 2002

I perioden 2002-2018 har eksterne prosjekter vært en andel av avdeling nøytrons budsjett (se vedlegg - Oversikt over eksternt finansierte prosjekter ved avdeling NØYTRON siden 2002). Disse prosjektene gir finansiering for postdokstillinger og Ph.d.-studenter i prosjektene, bidrag til lønnsmidler for

fast stab i avdelingen, driftsmidler og investeringer. Sammenlagt har disse 101 eksterne prosjektene i avdeling Nøytron bidratt med 339 mill. kr. til IFE siden 2002. Eksternt finansierte prosjekter med avdeling Nøytron som prosjektleder eller prosjektpartner etter 2002 er følgende;

- Deltakelse i 27 EU-finansierte prosjekter, hvorav avdeling Nøytron koordinerte seks av disse. Midler til IFE: 70 mill. kr.
- Deltakelse i 59 prosjekter finansiert av Norges forskningsråd, avdeling Nøytron prosjektleder for 34. Midler til IFE: 185 mill. kr.
- Deltakelse i 15 andre prosjekter, med finansiering fra Nordisk energiforskning, Nordforsk, ESS, NEDO (Japan). Midler til IFE: 84 mill. kr.

3.2 Samarbeidspartnere innenfor forskning og utdanning 2008-2018

Aktørbildet rundt JEEP II er først og fremst knyttet til Avdeling Nøytron ved IFE. Avdelingen har hatt utstrakt samarbeid med forskere og forskningsgrupper innenfor universitetssektoren, som for eksempel Universitetet i Oslo, NTNU, Universitetet i Stavanger, Universitetet i Bergen, Universitetet i Agder og NMBU, samt flere forskningsinstitutter som SINTEF, IRIS, Tretekniks institutt og FFI.

Samarbeid realiseres gjennom felles publikasjoner og forskningsprosjekter (se også kapittel 2.2). De viktigste nasjonale samarbeidspartnere de siste 10 år har vært NTNU, Universitetet i Oslo og SINTEF.²³ Mens NTNU er assosiert partner i NcNeutron og full partner i søknad for NcNeutron fase II, er de tre øvrige aktørene partnere i NcNeutron. Alle de fire institusjonene er representert i styret til NcNeutron. Institusjonene er de sentrale forskningsaktørene innen materialforskning og nanovitenskap i Norge, og dermed også de mest sentrale institusjonene for samarbeid innen nøytronbasert materialforskning. Som oftest involverer disse samarbeidene bruk av flere eksperimentelle og teoretiske metoder. De felles prosjektene, med påfølgende publikasjoner, inkluderer dermed flere metoder for framstilling og karakterisering av materialer.

Samarbeid med Universitetet i Oslo (UiO)

UiO har vært IFEs mest sentrale nasjonale samarbeidspartner innen nøytronbasert materialforskning siden 50-tallet. I tillegg til forskningssamarbeid, har IFE samarbeidet med UiO om utdanning for UiOs masterstudenter og PhD studenter. I samarbeid mellom IFE og UiO er det utviklet flere kurs som gir studiepoeng for studenter og Ph.d. stipendiater.

I perioden 2008-2018 er det registrert 78 felles publikasjoner mellom ansatte i UiO og avdeling Nøytron. Hoveddelen er dette er knyttet til samarbeid med forskningsgrupper tilknyttet Kjemisk institutt. De siste 10 årene har det vært en fast stab ved UiO som bidrar som medforfattere i publikasjoner med ansatte i avdeling Nøytron, og/eller som er involvert pågående forskningsprosjekter. Tematisk inkluderer samarbeid mellom UiO og avdeling Nøytron:

²³ Selvevaluering IFE

- Polymere, «myke materialer»
- Biologiske materialer
- Materialer for lagring av hydrogen
- Batterimaterialer
- Magnetisme og magnetiske materialer
- Magnetokaloriske materialer
- Termoelektriske materialer
- Oksider for energiformål

Samarbeid med NTNU

I perioden 2008-2018 er det registrert 46 felles publikasjoner mellom NTNU og avdeling NØYTRON. Institutt for Fysikk er den viktigste samarbeidspartneren ved NTNU, men det er også samarbeid med andre institutter på NTNU. De siste 10 årene er det felles publikasjoner med flere NTNU-ansatte tilknyttet fire institutter ved universitetet. Ansatte ved NTNU er også, i samarbeid med forskere ved IFE, veiledere for master- og PhD-studenter tilknyttet NTNU og ved IFE. Tematisk inkluderer samarbeidet mellom NTNU og avdeling Nøytron:

- «Myke materialer»
- Bruk av leire for energiformål, CO₂lagring
- Materialer for lagring av hydrogen
- Batterimaterialer
- Oksider
- Smarte vinduer

Samarbeid med SINTEF

SINTEF er partner i NcNeutron. Det er registrert 30 felles publikasjoner mellom SINTEF og avdeling NØYTRON i perioden 2008-2018. I SINTEF-systemet er samarbeid primært realisert i SINTEF Industri. Tematisk omfatter samarbeidet mellom SINTEF og avdeling Nøytron følgende områder:

- Materialer for lagring av hydrogen
- Termoelektriske materialer
- Elektrolysører og brenselceller
- Polymere og gel-materialer

Samarbeid med Universitetet i Stavanger (UiS)

Samarbeid med UiS er under etablering. Universitetet i Stavanger (UiS) har tatt strategisk beslutning om å bygge opp forskningsaktiviteter innen nøytronspredning/forskning. Det er derfor ansatt to førsteamanuenser i faste stillinger med bakgrunn og interesse for nøytronspredningsmetoder. Aktuelle

tematiske områder for samarbeid er materialer for lagring av hydrogen og magnetisme/magnetiske materialer.

3.3 Andre oppdragsgivere – anvendt forskning

Gruppen øvrige oppdragsgivere som etterspør anvendt forskning består i hovedsak av næringsliv innen industri og helsesektor. Det er da helst oppdragsgivere innen materialteknologi. I følge flere av informantene har det ikke vært mye samarbeid med næringsliv. Forklaringen er ifølge ISIS og ESS at bruk av nøytroner er som oftest orientert mot grunnforskning. Næringsliv er heller ikke spesielt interessert i å finansiere grunnforskning, men vil ha interesse av å skaffe tilgang til anvendt forskning. Det er ikke lett å få bedrifter til å inngå forpliktende samarbeid med aktører som JEEP II. Et av tiltakene for å gjøre forskningen ved JEEP II mer relevant for næringsliv var utvikling av instrumenter mer egnet for anvendt forskning gjennom NcNeutron.

3.3.1 Industri

Bedriftsaktører er som oppdragsgivere til JEEP II generelt mer opptatt av anvendt forskning, enn grunnforskning. Anvendt forskning i relasjonen JEEP II og industri er primært rettet mot bestemte praktiske mål eller anvendelser. Dette er type forskning er av original karakter, og som utføres for å skaffe til veie ny kunnskap om materialers kvaliteter og egenskaper. Anvendt forskning med bruk av JEEP II kan være en del av bedriftenes utviklingsarbeid som bruker kunnskap fra forskning og praktisk erfaring, og som er rettet mot det å fremstille nye eller vesentlig forbedrede materialer, produkter eller innretninger, eller mot det å innføre nye eller vesentlig forbedrede prosesser, systemer og tjenester.

Selv om JEEP II blir støttet av deler av næringslivet som har relasjoner til materialteknologi, sier Bjørn Hauback – leder for nøytronavdelingen at;

Men det er en lang vei å gå med industri. Men samtidig må man huske at ESS ikke bygges for industri, men for forskning for publiseringer.

Bjørn Hauback, IFE

I følge flere av informantene er prosjekter som er orientert mot industri av begrenset aktivitet orientert mot JEEP II. Instrumentene i tilknytning til JEEP II grunnforskningsorienterte, og har dermed ikke vært så relevant for norsk næringsliv.

Samtidig har forskning knyttet til JEEP II-reaktoren resultert i flere oppstart-selskaper, patentering og patentsøknader. For avdeling Sporstoff vurderer et privat firma å kjøpe produksjonsteknologien for Tb-161 med tanke på kommersiell radiofarmasøytisk bruk. De siste ti årene har fem oppstartsselskaper vært eller er fremdeles eid av IFE. Eierskapet er basert på patenter og patentsøknader hvor forskere i avdeling Nøytron har vært involvert. Tabellen under viser en oversikt over disse selskapenes virke og tilknytning til JEEP II.

Tabell 4: Spinnofts fra JEEP II-reaktoren

Bedrift	Beskrivelse	Teknologi	Patenter
<p><u>CondAlign AS</u> – www.condalign.no</p> <p>Startet opp i 2010 i lokaler på IFEs område, men er nå lokalisert i Oslo</p>	<p>Åtte ansatte. Markedsfører produkter og teknologi innen elektrisk ledende polymer kompositt-materialer. Anvendelser for medisinsk bruk, fleksible og elektrisk ledende filmer for elektronikk-industrien, for industriell varme-transport og membran-teknologi.</p>	<p>Teknologien basert på ideer og kompetanse på polymer- og karbonmaterialer utviklet i forbindelse med forskning ved JEEP II-reaktoren.</p>	<p>I 2012 ble alle patenter og patentsøknader som omhandler teknologien overført fra IFE til CondAlign AS. Dette gjelder for åtte patenter og patentsøknader.</p>
<p><u>Giamag Technologies AS</u> – www.giamag.com</p> <p>SMB selskap ved IFE på Kjeller. IFE er fortsatt deleier.</p>	<p>4 ansatte. Selskapet ble startet som resultat av et FORNY-prosjekt ved IFE finansiert av Norges Forskningsråd.</p>	<p>Formålet var å utnytte IFEs unike kompetanse innen magnetiske materialer til å framstille en ny type svært kraftige magneter for bruk i magnetisk separasjon innen medisin, bioteknologi, bergverksindustri og miljøteknologi.</p>	<p>2 patenter og patensøknader</p>
<p><u>Hystorsys AS</u> - www.hystorsys.no</p> <p>Hystorsys AS er et ”spin-off” selskap fra IFE etablert i 2005</p>	<p>hovedfokus på bruk av metallhydrider for kompresjon og lagring av hydrogengass. Selskapet har to ansatte og holder til ved IFE på Kjeller.</p>	<p>HYSTORSYS nyttiggjør seg kompetanse innen egenskaper, syntese og oppførsel av hydrogen i faste materialer, såkalte metallhydrider som har særlig blitt utviklet gjennom materialforskningen i JEEP II gjennom flere tiår.</p>	<p>Selskapet fikk ved oppstarten med seg flere patenter fra IFE.</p>
<p><u>SUNPHADE AS</u> - https://sunphade.com/</p> <p>Et oppstartsselskap eid av IFE Invest AS, stiftet i 2017.</p>	<p>Bruk av metallhydrider basert på yttrium og blandet med oksygen som smart vin-duet.</p>	<p>Kompetanse innen hydridmaterialer er basert på materialforskningen knyttet til JEEP II-reaktoren.</p>	<p>Sunphade AS sammen med IFE har patenter og patent-søknader for teknologien.</p>
<p><u>n-TEC AS</u> – 2001-2014. Tre ansatte</p>	<p>Produserte karbon nanorør ved en plasma-bue metode</p>	<p>Selskapet var det eneste som kunne levere karbon kjepler kommersielt på verdensmarkedet. Hadde samarbeid med Nøytron-avdelingen om å utvikle nye anvendelser av karbon kjepler.</p>	

Kilde: Selvevalueringskjema, IFE

I tillegg til disse fem selskapene er det også tatt ut to patenter basert på teknologi utviklet fra forskning ved JEEP II.²⁴

Det var få industribedrifter som deltok i brukersurveyen. De av respondentene som svarte har i begrenset grad svart på de åpne spørsmålene. I etterkant av survey, har evalueringsteamet derfor gjort noen supplerende intervjuer med bedrifter som har vært brukere av JEEP II-reaktoren. I intervjuene er det påfallende få informantene som har kunnskap om bruk og anvendelsesmuligheter av JEEP II på tross av at de har kjøpt en eller flere tjenester.

3.3.2 Helsesektoren

I fokusgruppeintervjuene med forskere ved IFE og i intervjuene med universitetsansatte ble det trukket frem at reaktorer som JEEP II er viktig for fremtidens gjennombrudd innenfor medisinsk forskning. Den største betydning for helsesektoren som JEEP II har hatt, har vært gjennom materialforskning og karakterisering av biologiske materialer og oppbygging av disse materialene ved bruk av nøytroner. Fluksen til JEEP II har vært for lav til å produsere de fleste typer av radioaktive nuklider som brukes medisinsk. Radionuklidene som brukes i Norge har derfor primært vært importert fra utlandet, blant annet fra kilder i Nederland, USA, Russland og Sør-Afrika. Dette er allikevel et forskningsfelt under utvikling og noe forskning på kortlivede radionuklider har alt blitt gjort ved JEEP II.

Det er for tiden en rivende utvikling nasjonalt og internasjonalt i forskning, utvikling og studier av nye radiofarmasøytiske produkter for diagnose og terapi i den nuklearmedisinske sektoren.

Tor Bjørnstad, IFE

Det forskes for eksempel på nøytron-induserte radionuklider som kobles til et transportmolekyl som kan være målsøkende. Et annet eksempel på bruk av JEEP II til medisinsk forskning er det tverrsektorielle prosjektet på Terbium-161 hvor JEEP II har blitt brukt til bestråling, og hvor UiO og Radiumhospitalet har forsket på mulig bruk av dette til behandling av kreft. Det er først og fremst forskning på og med kortlivede radionuklider som stengingen av JEEP II påvirker. Dette gjelder både for den medisinske sektoren og for metodeutvikling innenfor teknologi og industri. Den korte levetiden medfører at det er vanskeligere å importere slike radionuklider til Norge. De må produseres lokalt.

3.4 Rektorens betydning for forskning og utdanning

Med data som er tilgjengelig i utredningen og evalueringen kan man beskrive hvordan forskningsmiljøer og brukerne av JEEP II-reaktoren benytter seg av fasiliteten for gjennomføring av forskning og

²⁴ NO-330070B1 Innvilget (Norge) "Hydrogenlagringssystem, fremgangsmåte for reversibel hydrogenlagring og fremstilling av materiale derfor anvendelse". I tillegg innvilget: EPO (EU-området), USA, Japan, Canada. NO-2006327822 Innvilget (Norge) "Fremgangsmåte for fremstilling av AlH₃ og strukturelt relaterte faser, materiale fremstilt derved, og anvendelse av slikt materiale". Innvilget: EPO (EU-området), Japan, Canada.

hva som utkommer som deres forskningsresultater. Som beskrivelsen i kapitlene 3.1 til 3.3 har aktørgruppene ulik bruk og nytte av JEEP II. I dette delkapitlet diskuteres imidlertid hvordan nytteverdien av JEEP II realiseres av ulike aktørgrupper. Diskusjonen har et spesielt fokus på de norske aktørene og brukerne.

3.4.1 Reaktorens betydning for forskning

JEEP II har en viss betydning både for norske og internasjonale forskningsmiljøer. En årsak til det kan være at brukerne av JEEP II finner IFEs kompetanse ved JEEP II som høy. Av de 54 respondentene som deltok i survey, var det ingen av respondentene som mener at kompetansen ved JEEP II er gjennomsnittlig eller dårligere. Hele 79 prosent av respondentene mener at kompetansen som er tilbydd ved JEEP II er eksellent, og 21 prosent vurderer kompetansen som god. At respondentene som deltok i survey finner kompetansen ved JEEP II miljøet som solid tydeliggjøres også gjennom at mange av de samme respondentene har vurdert samarbeid med eller bruk av forskning fra JEEP II igjen i nær fremtid. Hele 58 prosent av respondentene hadde allerede planer for nye samarbeid eller forsøk ved JEEP II og 32 prosent vurderte det samme da surveyen ble gjennomført. Bare ni prosent hadde ingen konkrete planer eller vurderte å bruke JEEP II i nærmeste fremtid.

Det som har vært helt sentralt ved JEEP II-reaktorens betydning har vært tilgang og fleksibiliteten til reaktoren. I de kvalitative intervjuene er det flere forskere både ved IFE og ved universitetene i Norge har omtalt dette som noe av det viktigste reaktoren har hatt å tilby. I fokusgruppe-intervjuene på IFE ble det for eksempel kontinuerlig understreket at det viktigste med JEEP II var at man «[...] kan gjøre forsøk rask, samme måling, og det er nesten ingen andre steder i verden man kan gjøre det på» og at man har «[...] rask og fleksibel tilgang». I intervjuer med brukere på universitetene ble også viktigheten av dette fremhevet: «Det viktigste er på en måte nærheten [...] Det er bare å kjøre opp til Kjeller med en prøve, så blir det målt» og «Det er det viktigste med den JEEP'en, vi har ikke trengt å søke om å bruke den, og vi kan bruke den tiden vi trenger». Tilgang til andre reaktorer og nøytronkilder er ofte søknadsbasert, og tidsperspektivet fra behovet for tilgang har oppstått til forskerne har fått gjennomført forsøket har vært mye lengre ved disse.

Fordelen er å ha kompetente partnere og en reaktor du kan bruke neste dag om du vil. Internasjonalt kan vi i beste fall gjøre det om en måned, i verste fall om et halvt til ett år.

Helmer Fjellvåg, UiO

3.4.2 Reaktordriftens betydning for utdanningsmiljøene

Denne delen vil identifisere de bidragene JEEP II og miljøet knyttet til reaktoren har for utdanning i Norge, med fokus på undervisningsopplegg, professor-II stillinger og veiledning av studenter. Problemstillingen som blir diskutert er *Hva er JEEP II's betydning for nasjonalt utdanningstilbud innen realfag?*

JEEP II har spilt en rolle for utdanningstilbudet i realfag først og fremst når det kommer til bruken av nøytronbasert materialforskning. På dette feltet ble samarbeid med UiO tidlig inngått og fagmiljøet

ved IFE har vært stilt for undervisning innen fysikk i høyere utdanning siden 50-tallet.²⁵ UiO har vært IFES mest sentrale samarbeidspartner og det er primært ved UiO og NTNU at JEEP-II har spilt en rolle for undervisning i realfag. Følgende fast ansatte ved IFE har professor II stillinger ved norske universiteter: Bjørn Hauback (UiO), Geir Helgesen (UiO) og Kenneth Knudsen (NTNU). I tillegg har Anja Sjøstad og Helmer Fjellvåg fast ansatte ved UiO samtidig som de er knyttet til IFE.²⁶

Forskere ved nøytronavdelingen har bidratt til undervisning i flere fag ved UiO og NTNU. Ansatte ved avdelingen Nøytron på IFE bidro på følgende kurser i 2018:

- UiO: MENA3200 Energimaterialer med Bjørn C. Hauback som kursansvarlig og foreleser
- UiO: MENA3100 Materialkarakterisering med Magnus H. Sørby og Geir Helgesen som forelesere
- UiO: UNIK4840/UNIK9840 Nøytronspredning i materialforskning med Geir Helgesen som kursansvarlig og foreleser og Bjørn C. Hauback og Kenneth Knudsen som forelesere
- UiO: FYS4430/FYS9430 Kondenserte fasers fysikk med Geir Helgesen fra IFE som kursansvarlig og foreleser.
- UiO: FYS3180 Eksperimentelle metoder i fysikk med Geir Helgesen som foreleser
- NTNU: TFY4515 Light, x-ray and neutron scattering med Kenneth D. Knudsen som kursansvarlig og foreleser.

Faget «Nøytronspredning i materialforskning» har blitt gjennomført med forelesninger på UiO og lab-oppgaver i JEEP II. Faget har nå blitt nedlagt.²⁷ Antall studenter på hvert fag har variert, men de fleste kursene har kun noen få studenter. Flere av fagene har allikevel gått over flere år. Det gjør at antallet studenter som har lært om nøytronbruk gjennom kurs holdt av IFEs ansatte er noe høyere over et lengre tidsperspektiv. JEEP II har også vært relevant for kurset «Nordic Neutron Science Program» som var et ukelant praktisk kurs ved JEEP II-reaktoren finansiert av NordForsk.

Siden 2008 har avdeling Nøytron ved JEEP II veiledet 15 Ph.d. studenter, hvorav de har vært hovedveileder på 11 doktorgrader og medveileder på fire. Av disse doktorgradene har en vært knyttet til NMBU, 11 til UiO og to til NTNU. I tillegg så har 8 utenlandske studenter hatt forskningsopphold i avdelingen i samme periode. Det har også vært 24 masterstudenter som har vært knyttet til aktivitetene relatert til JEEP II på IFE. Disse har også hovedsakelig vært tilknyttet UiO og NTNU, mens NMBU har hatt tre masterstudenter knyttet til JEEP-II aktiviteter de siste ti årene.²⁸

²⁵ Njølstad, O. (1999). Strålende forskning: Institutt for energiteknikk 1948-1998. Tano Aschehoug.

²⁶ Selvevaluering, IFE

²⁷ <https://www.uio.no/studier/emner/matnat/its/UNIK4840/>

²⁸ Selvevaluering IFE

3.5 Nasjonal atomsikkerhet og atomberedskap

Med bakgrunn i erfaring fra reaktordriften har IFE opparbeidet kunnskap og forståelse for fisjon, reaktorsikkerhet, nedrustning og radioaktivitet. IFE har blitt kjernen i fagmiljøet som kan det tekniske rundt reaktordrift, avdelingen har høy sikkerhetskompetanse og yter tjenester internt og eksternt til sikkerhetsvurderinger opp mot nukleære anlegg og materialer, nasjonalt og internasjonalt.

IFE Kjeller har blant annet bidratt i prosjekter ved reaktordrift i Russland og til nedrustningssamarbeid blant annet gjennom øvelser opp mot verifikasjon av nedrustning av kjernevåpen i samarbeid med Utenriksdepartementet og Forsvaret.²⁹ Ved JEEP II har det også blitt gjennomført tverrfaglige eksperimenter innen verifikasjon av nedrustning.³⁰ IFE deltar sammen med Statens Strålevern, Forsvarets forskningsinstitutt og Norwegian Seismic Array i NorNed-samarbeidet. Hovedaktiviteten til NorNed-samarbeidet har vært et firepartssamarbeid mellom Norge, Storbritannia, USA og Sverige som jobber med verifikasjon av kjernefysisk nedrustning. Dette er politisk viktige områder for Norge og verifikasjon av kjernefysisk nedrustning er et hovedsatsingsområde for Norge.³¹ At Norge har et godt fagmiljø har vært viktig for norske bidrag til nedrustning og atomsikkerhet internasjonalt. Informanter som har deltatt i disse prosjektene omtaler fagmiljøet på IFE Kjeller som kompetent og viktig i arbeidet for at Norge blir tatt som en seriøs aktør internasjonalt. I bidraget fra IFE Kjeller til internasjonal nedrustningssamarbeid så har ikke tilgang til selve reaktoren vært det viktigste, men fagmiljøet som har oppstått i tilknytning til denne.

*In 2015, our four countries established a unique nuclear verification partnership colloquially referred to as the Quad. This is a partnership between two Non-Nuclear Weapon States and two Nuclear Weapon States and seeks to solve the very real challenges associated with verifying that nuclear disarmament has occurred.*³²

3.6 Evaluators vurdering

Det norske aktørbildet rundt JEEP II består av bidragsytere, samarbeidsarenaer og et lite knippe av oppdragsgivere. Som kartleggingen av aktører med relasjoner til JEEP II viser, er miljøet relativt lite. Aktørbildet rundt JEEP II er i tillegg svært spesialisert. Det interessante er imidlertid at miljøet likevel består av et bredt faglig spekter av forskere som utvikler og anvender nøytroner og isotoper som metode i eksperimenter, forsøk og undersøkelser. Som forskningsmetode treffer nøytronspredning flere grupper fra for eksempel materialforskere fra harde materialer til mykt biologisk vev, til tracing av sporstoffer og lagring av energi for ulike formål. Innenfor materialforskning er det større muligheter for å undersøke og forstå materialers egenskaper og kvaliteter, enn det som for eksempel røntgen kan tilby. De samme prinsippene gjelder for tracing og sporingsteknologi. På samme måte kan man

²⁹ Årsrapport 2017

³⁰ Selvevaluering

³¹ Prop. 1 S (2017-2018). Utenriksdepartementet.

³² NPT Preparatory Committee Verification Statement on behalf of 'the Quad'

følge sporstoffer i vener og biologisk vev, så vel som i rørsystemer for transport av olje og gass. Med dette som utgangspunkt kunne denne tverrfagligheten på sikt ha ledet til læring og cross-overs på tvers av fagmiljøer, som kunne ha ført til nye produkt og prosess innovasjoner i de sektorene der nøytronspredning som metode bidrar til å forstå materialers egenskaper bedre. Samtidig kan man også stille spørsmål om hvorfor læring og cross-overs på tvers av fagmiljøer ikke har blitt realisert mens JEEP II var operativ. Et av målene med NcNeutron-satsningen er imidlertid å adressere denne mangelen.

Basert på spesialiserte anvendelsesområder ved nøytronspredning blir aktørmiljøet rundt JEEP II begrenset. Nyttan av forskningen er imidlertid bredere og vil komme samfunnet til gode i form av innovasjoner som flerfaseteknologi, solcelleteknologi, bedre batterier med større kapasitet, mulig løsning på problemet med resistente bakterier, bedre kreftbehandling med færre behandlingsskader, forbedrede materialer for byggkonstruksjoner og så videre. Flere av informantene argumenterte for at nøytronspredning som forskningsmetode er et viktig bidrag for å løse samfunnsutfordringer knyttet til miljø og bærekraft, og vil være et viktig bidrag til det grønne skiftet.

Bruk av nøytroner og isotoper gir utdypende og utfyllende forskningsresultater der røntgenstråler kommer for kort. Selv om miljøet som benytter seg av nøytroner og isotoper er lite og spesialisert, er anvendelsesområdene av forskningsresultater store. Det betyr at brukergruppene og bruksområdene av nøytronspredning og tracing-teknologi kan ha et større nedslagsfelt enn det som har vært tilfelle ved JEEP II. Et av målene med NcNeutron var nettopp at anvendelsesområdene og målgruppene for anvendelse skulle utvides. Investeringene og satsningen på NcNeutron skal gjøre forskningen ved JEEP II mer relevant for direkte bruk for oppdragsforskning innen industri og helsesektoren.

At Norge har et godt fagmiljø har vært viktig for norske bidrag til nedrustning og atomsikkerhet internasjonalt. En stor del av dette fagmiljøet er lokalisert på IFE. I bidraget er det ikke nødvendigvis tilgang til selve reaktoren som er viktig, men fagmiljøet som har oppstått i tilknytning til denne. Kunnskap om nedrustning og atomberedskap har vært lettere å opprettholde ved IFE med aktiviteten ved de to reaktorene.

4. The European Spallation Source (ESS) og øvrig internasjonal forskning

Dette kapitlet belyser hvilke forpliktelser Norge har med etableringen av ESS, og hvilken betydning JEEP II har og kunne ha hatt for det norske bidraget til ESS og for internasjonal forskning. En stor del av kapitlet omhandler ESS og hvordan nedleggelsen av JEEP II påvirker både Norges bidrag innen nøytronforskning og tilgang til ESS-reaktoren. Kapitlet vil diskutere følgende problemstillinger:

- *Hvilke forpliktelser har Norge i forbindelse med etableringen av ESS?*
- *Hvordan er JEEP II av betydning for det norske bidraget til ESS og hvor lenge vil disse forpliktelsene vare?*
- *Hva er konsekvensene av stengingen av JEEP II-reaktoren for Norges bidrag til ESS?*
- *Hva er JEEP IIs betydning for øvrig internasjonal forskning?*

Figur 10: Oversikt over nøytronkilder i Europa, eksisterende og under bygging/ utvikling. De viktigste kildene er i lyseblå.



Kilde: Oxford Research AS og "Neutron scattering facilities in Europe Present status and future perspectives"

Europa har i de siste 40 årene vært ledende aktør når det kommer til nøytronspredning og forskning med bruk av nøytroner. Europa har et bredt nettverk mellom gjenværende nøytronkilder og et stort europeisk samfunn som bruker nøytroner i ulike typer forskning. De fleste nøytronkildene i Europa ble, i likhet med JEEP II, bygget på 1960- og 1970-tallet og flere av disse har stengt, eller vil stenge, i løpet av de neste 10 årene.³³ Nedstenging av reaktorer i Europa, uten opprettelsen av like mange nye nøytronkilder, har blitt omtalt som «Europas nøytrontørke». Tilgangen til nøytroner har i intervjuer blitt beskrevet som en pyramide, hvor de små nøytronkildene rundt i Europa representerer bunnen av pyramiden som forskningsmiljøet er bygget på. At flere av de mindre reaktorene blir lagt ned gjør at plattformen for nøytronforskning som er bygget opp fra 1950-tallet og frem til i dag forvitrer, og antall forskere med mulighet til å forske med nøytroner, samt bredden i forskningen, innskrenkes. European Spallation Source (ESS), som er et European Research Infrastructure Consortium (ERIC), bygges nå i Sverige, mens ISIS Neutron and Muon Source i Storbritannia, SINQ ved PSI i Sveits, ILL i Frankrike og FRM II i Tyskland er de fire viktigste nøytronkildene i Europa i dag. Flere av de landene i Europa som ikke lengre har egen nøytronkilde har inngått forpliktende samarbeid i andre land for å få tilgang til nøytroner. Danmark har for eksempel et strategisk samarbeid med PSI i Sveits.³⁴ Denne type samarbeid bidrar til at flere land har tilgang til nøytroner for forskning, men det øker selvfølgelig ikke kapasiteten i Europa.

4.1 ESS bruk og tilgang

ESS som er under bygging i Lund i Sverige, vil bli verdens kraftigste nøytronkilde når den er ferdig i 2025/2026. Planleggingen og byggingen av ESS startet i 2009. Målet er at anlegget skal tilby vanlig brukertilgang til eksperimenter, testing og forsøk med bruk av nøytroner som forskningsmetode. The Data Management and Software Centre in Copenhagen (DMSC) vil tilby støtte og tjenester knyttet til vitenskapelig analyse av dataen samlet inn ved ESS. ESS ble et European Research Infrastructure Consortium (ERIC) i 2015. Målet med ESS er å levere flaggskipkapasitet til nøytronbrukere, som ideelt sett supplerer en rekke nøytronanlegg i hele Europa.

With the huge increase in neutron flux at ESS we can expect doing quite a lot more – new things will become possible, some of which we can't imagine beforehand. If you look at the impact of development of science infrastructure in other fields, major breakthroughs in science have followed from such improvements in capability.

Shane Kennedy, ESS

ESS er et samarbeid med nesten 130 institusjoner over hele verden gjennom in-kind avtaler, tilskuddsordninger og andre forskningssamarbeid. ESS vil gjøre det mulig å utføre undersøkelser som ikke er mulig ved dagens nøytronkilder og anlegget vil bestå av tilsammen 15 instrumenter. ESS vil dekke forskning innen et bredt spekter av fagområder.

ESS skal tilrettelegge for forskning og skal som hovedregel oppmuntre til fri tilgang til forskningsdata. ESS skal generelt oppfordre forskere til å gjøre sine forskningsresultater offentlig tilgjengelige, og skal

³³ ESFRI Scripta Volume I (2016). *Neutron scattering facilities in Europe. Present status and future perspectives.*

³⁴ <http://www.danscatt.dk/about/welcome-to-danscatts-homepage>

motivere forskere i medlemslandene til å gjøre resultater tilgjengelig i organisasjonens navn. Både europeiske og internasjonale forskere, samt andre relevante brukere, vil ha tilgang til å bruke ESS. Muligheter for å få tilgang til å bruke nøytronkilden vil være basert på peer-reviewed evalueringer av søknader hvor høyt vitenskapelig nivå og prosjektets gjennomførbarhet er grunnleggende kriterium for å få tildelt tid.³⁵ ESS representerer toppen når det kommer til type kapasitet anlegget tilbyr, men kapasiteten og tilgangen for forskere er likevel begrenset. Det er begrenset forskningskapasitet ved ESS slik at volum for gjennomføring av eksperimenter, tester og forsøk vil være begrenset. Tilgang til bruk av nøytronkilden vil derfor være begrenset til de høyes vurderte prosjektene. Leder for nøytronforskning ved IFE, Bjørn Hauback, beskrev tilgang til ESS som å være i «finalen i Champions League» for forskere. Fra ESS sin side ble bekreftet at det var forventet at forskere har gjort nøytron-forskning og gjerne testet ut sine prosjekter ved andre fasiliteter før de søker om tid hos ESS.

Vertslandene Sverige og Danmark bidrar med henholdsvis 35 og 12,5% av investeringskostnadene for etableringen av ESS, mens resten dekkes av andre europeiske partnerland. En betydelig del av investeringene ved ESS er in-kind bidrag som for eksempel kan bestå av arbeid og utvikling av utstyr og komponenter som skal brukes ved ESS. Totalt er in-kind bidraget estimert til ca. 600 mill. euro.

NordForsk har opprettet et Nordisk program for nøytronforskning med mål om å øke antall forskere i Norden som kan anvende nøytroner til vitenskapelig analyser, med mål om å støtte langsiktig bruk av ESS.³⁶

4.2 Norges forpliktelser til ESS

25. mars 2010 forpliktet Norge seg offisielt til å delta i ESS.³⁷ Norges forpliktelser var på 2,5 % av de totale konstruksjonskostnadene til ESS, noe som tilsvarer over 400 mill. norske kroner.³⁸ I tillegg har Norge forpliktet seg til å bidra til driften av ESS og dekommisjonering i fremtiden. Bidrag til driftskostnadene til ESS vil bli i forhold til bruk av ESS.

Flere norske institusjoner bidrar med Norges in-kind bidrag. IFE er den største bidragsyteren fra Norge, men både Universitet i Bergen, Universitet i Oslo og NTNU er listet opp som bidragsytere til ESS.³⁹

IFE er listet som bidragsyter på følgende in-kind utvikling:

- Test experiments with neutron instruments at the Jeep II reactor and contribution to the ESS Test beamline team.
- BIFROST (Instrument)

³⁵ Statutes of the European Spallation Source ERIC: Artikkel 17.

³⁶ <https://www.nordforsk.org/no/programmer-og-prosjekter/programmer/faellesnordisk-program-for-neutronforskning>

³⁷ Forskningsrådet (2010) Status for arbeidet med norsk deltakelse i European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI)

³⁸ Prop. 80 S (2014-2015) .Samtykke til godkjenning av EØS-komiteens beslutning nr. 72/2015 av 20. mars 2015 om innlemmelse i EØS-avtalen av forordning (EF) nr. 723/2009 om Fellesskapets rettslige ramme for et konsortium for en europeisk forskningsinfrastruktur (ERIC-konsortium)

³⁹ In-kind and collaboration Partners https://europeanspallationsource.se/sites/default/files/files/document/2017-09/global_collabs_mid2017.pdf

- Heimdal (Instrument)
- Alarms Management
- Client software development for the integrated control system (Logbook and Alarms)
- Main Control Room Conceptual Design
- Control Room Stage 2 Design
- Control Room Stage 3 Implementation
- Server and Storage
- ICS Network.⁴⁰

Det er avdelingen Nøytron ved IFE Kjeller som bidrar i utviklingen av de to instrumentene Bifrost og Heimdal. Deltagelsen i utviklingen av disse to instrumentene er ikke direkte relatert til eksperimenter i JEEP II. Testoppsettet med R2D2 i JEEP II startet i 2009 og dermed før in-kind prinsippet var utviklet ved ESS. Dette var da et direkte samarbeid mellom ESS og IFE. ESS har også testoppsett ved reaktoren i Berlin, men denne reaktoren skal stenger i slutten av 2019.

4.3 Betydningen av JEEP II for nytte av ESS

From our point of view, we would expect that Norwegian researchers will want to use ESS. If they don't have access to neutron instruments in their own country, they are much less likely to be involved in the kind of science which would need ESS.

Ken Andersen, ESS

Å ha tilgang til mindre nøytronkilder er viktig for å få avkastning av investeringene i ESS. JEEP II kunne som en mindre nøytronkilde med lett tilgjengelighet ha representert et springbrett mot ESS. JEEP II kunne både fungere som opplæringsarena for fremtidig norske brukere av ESS, samt som verktøy i utviklingsprosessen av prosjektskisser som kan kvalifisere til tilgang til å gjennomføre eksperimenter, tester og forsøk ved ESS. I tillegg er miljøet rundt JEEP II på Kjeller et av få miljøer som har den nødvendige kompetansen på nøytronforskning som trengs for å bruke ESS. I 2017 omtalte IFE selv JEEP II-reaktoren som «[...] en norsk «inngangsbillett» til det som nå blir verdens største forskningsmiljø innen materialteknologi».⁴¹

Opplæring og metodisk trening skjer typisk ved de mindre nøytronanleggene. Å ha aktiv tilgang til nøytroner vil være viktig for å ha brukere som kan benytte seg av ESS, og JEEP II var tidligere tiltenkt en rolle i å utdanne og lære opp folk til å bruke nøytroner.

⁴⁰ In-Kind contributions <https://europeanspallationsource.se/in-kind-contributions>

⁴¹ IFE Årsrapport 2017

If Norway wants to be an effective user of ESS, the first thing I would ask is: where will you train scientists in order to use ESS?

Robert McGreevy, ISIS

Test-eksperimenter og eksperimenter som krever lang måletid må gjøres ved de mindre anleggene, siden de store reaktormiljøene som ESS ikke vil prioritere eller ha kapasitet til dette. Betydningen av å ha et sted for å finne og utvikle problemstillinger hvor ESS kunne brukes til å finne svarene, er også understreket av flere intervjuobjekter.

Kompetansemiljøet på IFE på nøytronbrukere har vært sett på som den største garantisten for at Norge kan få nytte av ESS når det står ferdig, og at det er lite sannsynlig at Norge kan benytte seg av ESS uten det miljøet. Universitetene i Norge har, ifølge informantene fra universitetene selv og IFE, i dag ikke den kompetansen som kreves, selv om UiS jobber med å utvikle dette gjennom rekruttering.

Det er lite sannsynlig at norske forskere vil bli i stand til å utnytte ESS i et omfang som tilsvarer norske investering og bidrag til driftskostnadene uten betydelig IFE-aktivitet innen nøytronområdet og tilgang til instrumentering ved IFE eller instrumenter som IFE har ansvar for ved for eksempel en europeisk nøytronkilde.⁴²

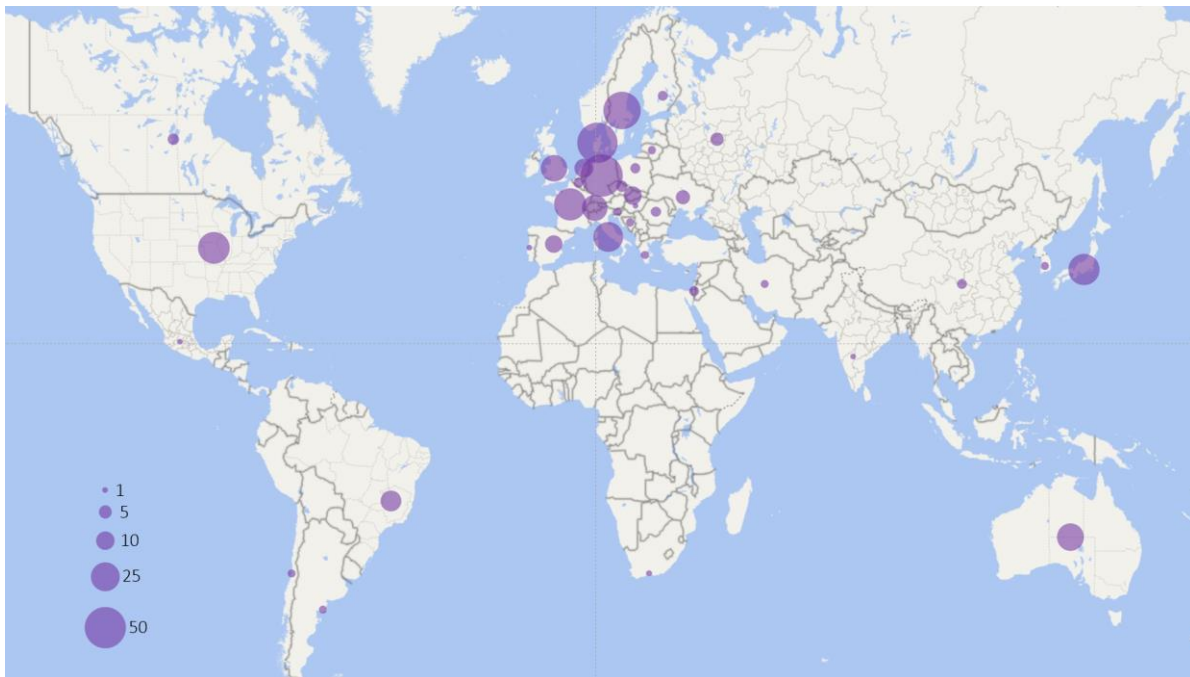
4.4 Forpliktelser og betydning for øvrig internasjonal forskning

4.4.1 Internasjonale prosjekter, samarbeid og publikasjoner

Atomreaktorene i Norge har alltid hatt et internasjonalt tilsnitt og den første atomreaktoren, JEEP I, ble bygget som et samarbeid mellom forskere i Norge og Nederland gjennom prosjektet Joint Establishment Nuclear Energy Research. Kjellermiljøet har siden samarbeidet med flere internasjonale miljøer hvor bruk av nøytroner fra JEEP II har vært en viktig del. Figuren under viser en oversikt over internasjonalt samarbeid om publikasjoner i perioden 2008-2018. Størrelsen på sirkelen angir antall felles publikasjoner mellom avdeling Nøytron ved IFE og det respektive landet.

⁴² Selvevaluering IFE

Figur 11. Internasjonalt samarbeid med avdeling Nøytron i perioden 2008-2018.



Kilde: IFEs selvevaluering

Figuren ovenfor viser at avdeling nøytron har produsert et betydelig antall publikasjoner i journaler med fagfellevurdering. Avdelingen hadde felles publikasjoner med 149 institusjoner i 37 land utenom Norge mellom 2008-2018. I tillegg hadde avdelingen samarbeid med 22 forsknings- og industripartnere i disse landene på pågående prosjekter hvor det forventes felles publikasjoner og forskningsresultater senere. Avdeling Nøytron har også deltatt i 27 EU-finansierte prosjekter siden 2002, hvor avdelingen var ansvarlig for koordinering av 6 av disse prosjektene.⁴³ IFEs relasjoner i publikasjons- og samarbeidsprosjekter internasjonalt har vært mot universitets- og forskningsmiljøer innen nøytronforskning. Tematisk er de internasjonale samarbeidene primært knyttet:

⁴³ Selvevaluering IFE

- «Myke materialer» (soft condensed matter)
- Biologiske og medisinske materialer
- Materialer for lagring av hydrogen
- Batterimaterialer
- Materialer for lagring av CO₂
- Magnetisme og magnetiske materialer
- Termoelektriske materialer
- Oksider for energianvendelser
- Varmelagring
- Detektorutvikling for ESS/bruk for nøytroner
- Skjermingsmaterialer og nøytron-guider for ESS
- Bruk av leire for energianvendelser
- Utvikling av smarte vinduer
- Bruk av nøytroner for kreftbehandling

Enkel tilgang på nøytroner har vært en viktig bakgrunn for deltagelsen i flere av de internasjonale prosjektene. Flere av intervjuobjektene omtalte reaktoren som viktig bakgrunn for norsk deltagelse i internasjonalt samarbeid, fordi den har fungert som en inngangsport til internasjonalt samarbeid. Reaktoren har også bidratt til å tiltrekke seg internasjonale forskere og fungert som nettverksbygger. På intervjuene ble det for eksempel sagt;

Det at du blir et knutepunkt hvor forskere møtes, norske forskere blir invitert, de har hatt mange EU prosjekt fordi de den har den reaktoren. Man har hatt noe unikt som ikke så mange andre har hatt.

Eva Dugstad, Radforsk

Det har gitt utlendinger en grunn til å komme til Norge. Bare se på alle de personene som har vært her, de hadde ikke kommet hit hvis reaktoren ikke hadde vært her.

Arne Skjeltnor, IFE.

4.4.2 Innflytelse på internasjonal forskning

For å si noe om innflytelsen forskningen knyttet til JEEP-II har hatt på internasjonal forskning, vil vi bruke kvantitative indikatorer fra Scopus. De fleste av disse tar utgangspunkt i siteringer, enten for artikkelen eller tidsskriftet den er publisert i. Siteringer sier nemlig noe om hvorvidt andre forskere bygger sin forskning på det vitenskapelige arbeidet som er gjort. Samtidig er det ikke slik at alle siteringer er like mye verdt. For eksempel vil andre siteringsdatabaser med mindre strenge inngangskriterier, som f. eks Google Scholar, også kunne inkludere siteringer fra konsulentbransjen, offentlige

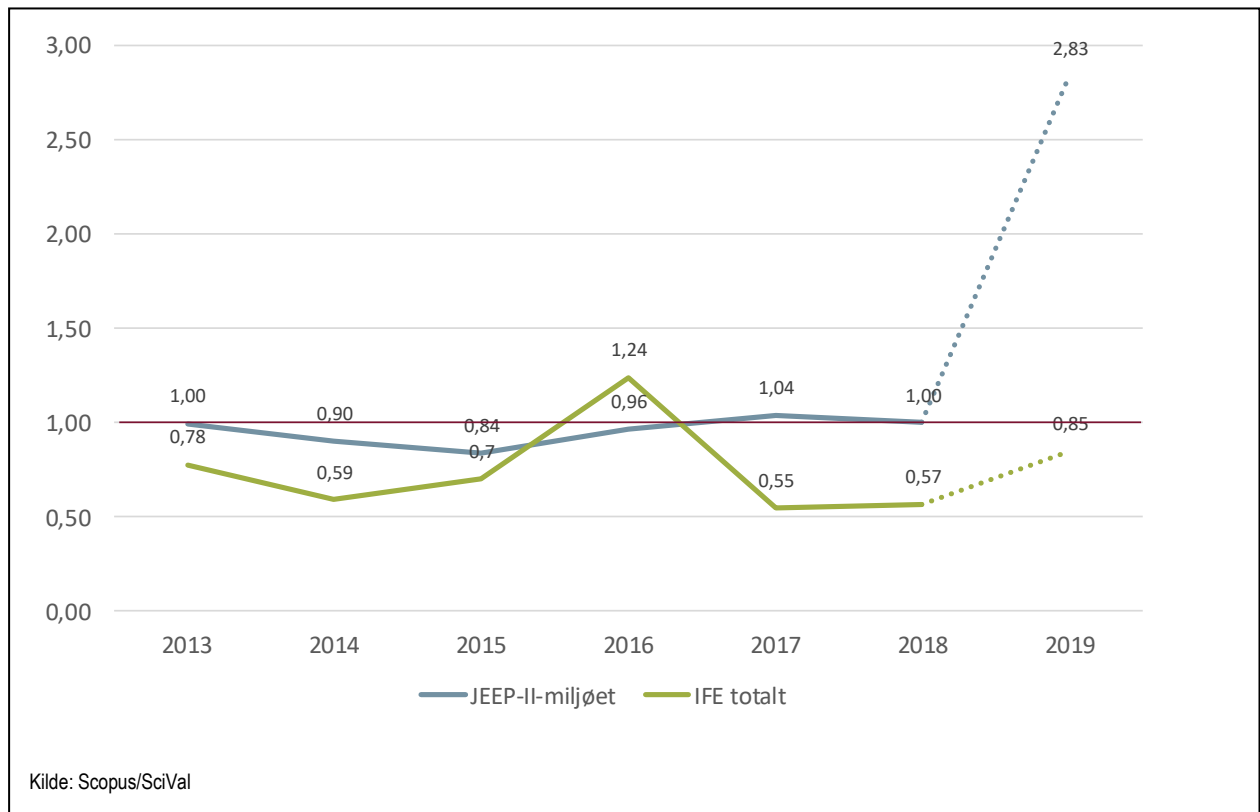
utredninger, instituttsektoren, masteroppgaver, aviser, tenketanker mv. I Scopus indeksres i utgangspunktet kun vitenskapelige tidsskrifter. Dette betyr at de har vært gjennom en kvalitetskontroll, der det blant annet stadfestes at tidsskriftet har rutiner for fagfelleevaluering.

Hvis en artikkel er blitt sitert et høyt antall ganger vil det (alt annet likt) tyde på at forskningen har hatt høyere interesse for det vitenskapelige fellesskapet, og kan også indikere høyere vitenskapelig verdi. Dette er imidlertid et kontroversielt tema innen bibliometrien, både fordi bruk av siteringer som benchmarkingsverktøy har ført til at forskere har begynt å anvende strategier for å øke siteringstallet og fordi forskning av samme kvalitet kan tiltrekke seg forskjellig oppmerksomhet avhengig av hvor kjent forskeren er.⁴⁴ Dessuten er vitenskapelig verdi eller kvalitet et flerdimensjonalt konsept som også innebærer hvor metodens soliditet, resultatenes troverdighet, arbeidets originalitet, samt funnenes samfunnsverdi og relevans. Siteringer bør derfor primært tolkes som et imperfekt mål på vitenskapelig innflytelse, heller enn på vitenskapelig verdi.

Neste figur viser utviklingen i «Field-Weighted Citation Impact» (FWCI) en såkalt «feltnormalisert siteringsindikator» for artikler publisert av forskere som brukte JEEP-II i perioden 2013-2019. En vitenskapelig publikasjon er forventet å få et ulikt antall siteringer avhengig av om den er en forskningsartikkel, et bokkappittel, en metastudie, anmeldelse eller noe annet. Videre er det forventede antallet siteringer avhengig av hvor lang tid det er gått siden publisering. For eksempel skåres en artikkel som har fått 5 siteringer så langt i 2019 høyere enn en artikkel som har fått 92 siteringer siden 2013. Til sist er siteringspraksis forskjellig innenfor ulike fagdisipliner. Indikatoren er relativisert ut fra disse hensynene. En artikkel får skåren 1 hvis den har fått like mange siteringer som gjennomsnittet av alle lignende publikasjoner i Scopus. En skåre på 1,25 betyr at artikkelen er blitt sitert 25 prosent flere ganger enn dette gjennomsnittet, og tilsvarende vil en skåre på 0,75 bety 25 prosent færre.

⁴⁴ Aksnes m.fl (2019 s. 10): “Citations, Citation Indicators, and Research Quality: An Overview of Basic Concepts and Theories”, *Sage Open Access*, tilgjengelig på: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/2158244019829575>

Figur 12: Feltnormalisert siteringsindikator (FWCI) for forskningsgruppen NØYTRON og IFE totalt



Figuren viser den gjennomsnittlige FWCI for artiklene til JEEP-II-forskergruppen sammenlignet med IFE totalt. Med unntak av ett år (2016) har JEEP-II artiklene fått en høyere FWCI-skåre enn IFE som helhet. JEEP-II forskergruppen har oppnådd et antall siteringer som har ligget fra rett rundt det globale gjennomsnittet de fleste år til 16 prosent under på det laveste. For 2019 er tallene foreløpige og påvirket av en statistisk utligger.

En annen måte å måle vitenskapelig innflytelse på er å se på hvor mange av artiklene som er blant de 10 prosent mest siterte artiklene i Scopus i publikasjonsåret. Av 147 fagfellevurderte artikler publisert i perioden 2013-2018 tilhører 34 denne øverste 10. persentilen, altså 23 prosent. I tekstboksen under har vi trukket fram to eksempler på artikler som er helt i toppen når det gjelder antall siteringer, og hvor IFEs forfatterandel er vesentlig:

Karlsson, Dennis; Ek, Gustav; Cedervall, Johan; Zlotea, Claudia; Møller, Kasper Trans; Hansen, Thomas Christian; Bednarcik, Jozef; Paskevicius, Mark; Sørby, Magnus Helgerud; Jensen, Torben René (2018): "Structure and Hydrogenation Properties of a HfNbTiVZr High-Entropy Alloy.", *Inorganic Chemistry*, vol 57, nr 4 (19), s. 2103-2110.

Abstract: A high-entropy alloy (HEA) of HfNbTiVZr was synthesized using an arc furnace followed by ball milling. The hydrogen absorption mechanism was studied by in situ X-ray diffraction at different temperatures and by in situ and ex situ neutron diffraction experiments. The body centered cubic (BCC) metal phase undergoes a phase transformation to a body centered tetragonal (BCT) hydride phase with hydrogen occupying both tetrahedral and octahedral interstitial sites in the structure. Hydrogen cycling of the alloy at 500 °C is stable. The large lattice strain in the HEA seems favorable for absorption in both octahedral and tetrahedral sites. HEAs therefore have potential as hydrogen storage materials because of favorable absorption in all interstitial sites within the structure. © 2018 American Chemical Society.

Floriano, R. , Deledda, S., Hauback, B.C., Leiva, D.R., Botta, W.J. (2016): " Iron and niobium based additives in magnesium hydride: Microstructure and hydrogen storage properties", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol 42, nr. 10, s. 6810-6819.

Abstract: In this study, powder mixtures of MgH₂ + 2 mol.% X, with X = Nb, Nb₂O₅, NbF₅, Fe, Fe₂O₃, FeF₃, were processed by mechanical milling at liquid nitrogen temperature (cryomilling). The effect of additives on crystalline structure, thermal properties and hydrogen storage properties of the mixtures were investigated. Morphological investigations indicated a heterogeneous particle size distribution of the powder mixtures and a fine dispersion of additive particles (FeF₃) in the MgH₂ matrix. High resolution synchrotron radiation X-ray diffraction (SR-XRD) data followed by Rietveld refinements showed a significant reduction on crystallite size for the samples containing fluorides (11 nm) in comparison with the pure MgH₂ sample (29 nm). This was related to the mechanical behavior of fluorides during milling with MgH₂, which act as a lubricant, dispersing and/or cracking agent during milling, and thus helping to further reduce MgH₂ particle size. DSC analysis revealed that fluorides (NbF₅, FeF₃) are much more effective than oxides (Nb₂O₅, Fe₂O₃) and the transition metals (Nb and Fe), respectively, in reduction the desorption temperature. Furthermore, Nb₂O₅ is more efficient than Fe₂O₃. Finally, the best results for desorption kinetics were observed for the fluorides: NbF₅ and FeF₃ (equivalent effect and consistent to the DSC analysis) followed by the oxides: Nb₂O₅, Fe₂O₃ and Nb. The addition of Fe was not efficient in comparison with the pure cryomilled sample.

Keywords: Magnesium hydride; Additives; Nanostructures; Hydrogen storage; High-energy ball milling

En annen måte å måle forskergruppens vitenskapelige innflytelse på er å se på publiseringskanalene de har brukt. Ettersom tidsskrift som har høyere prestisje får mer oppmerksomhet, er det rimelig å anta at artikler som publiseres i særlig innflytelsesrike tidsskrifter får et bredere nedslagsfelt enn dersom de hadde blitt publisert i mindre prestisjetunge tidsskrifter. Dette er også en indirekte indikator på det vitenskapelige arbeidets kvalitet, ettersom fagfelleverderingsprosessen i topp-tidsskrifter er svært selektiv. For å komme gjennom nåløyet bør et vitenskapelig arbeid både være nyskapende, fremragende gjennomført og adressere viktige temaer. De to mest valide måtene å måle et vitenskapelig tidsskrifts innflytelse eller prestisje på i Scopus er:

- Scimago Journal Rank (SJR) – kalkuleres ut fra gjennomsnittlig antall siteringer vektet etter kilde dividert på antall dokumenter publisert siste tre år. Siteringer vektet basert på hvilket fagfelt, kvalitet og rykte tidsskriftet de kommer fra har.
- Source Normalized Impact per Paper (SNIP) – kalkuleres ut fra tidsskriftets siteringstall per artikkel dividert med siteringspotensialet i fagfeltet. En sitering får høyere vekt dersom siteringer er mindre vanlige i fagfeltet og omvendt.

I perioden har 36 prosent av artiklene til JEEP-II-forskerne blitt publisert i tidsskrifter i den øverste 10. percentilen etter SJR, og 9,52 prosent etter SNIP. I side-stolpen har vi trukket fram to eksempler på publikasjoner i tidsskrifter som ligger helt i toppen målt etter disse indikatorene. Her er beskrivelsen hentet fra hjemmesiden til tidsskriftet.

Oppsummert tegner siteringstallene et bilde av en forskergruppe med innflytelse på internasjonal forskning som er på linje med sammenlignbare grupper innenfor samme fagfelt, og som tidvis publiserer artikler som tiltrekker seg svært stor oppmerksomhet.

Publisering i toptidsskrifter

Guzik, M.N., Echevarria-Bonet, C., Riktor, M.D., Carvalho, P.A., Gunnæs, A.E., Sørby, M.H., Hauback, B.C. (2018) «Half-Heusler phase formation and Ni atom distribution in M-Ni-Sn (M = Hf, Ti, Zr) systems», *Acta Materialia*, vol 148, s. 216-224.

Acta Materialia: is a forum for publishing full-length, original papers and commissioned overviews that advance the in-depth understanding of the relationship between the processing, the structure and the properties of inorganic materials. Papers that have a high impact potential and/or substantially advance the field are sought. The structure encompasses atomic and molecular arrangements, chemical and electronic structures, and microstructure. Emphasis is on either the mechanical or functional behavior of inorganic solids at all length scales down to nanostructures.

- Citescore: 6,18
- Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 2.737
- SCImago Journal Rank (SJR): 3.263

Sumida, K., Stück, D., Mino, L., Chai, J.-D., Bloch, E.D., Zavorotynska, O., Murray, L.J., Dincaï, M., Chavan, S., Bordiga, S., Head-Gordon, M., Long, J.R. (2013): "Impact of metal and anion substitutions on the hydrogen storage properties of M-BTT metal-organic frameworks", *Journal of the American Chemical Society*, vol 135, nr 3, s. 1083-1091.

Journal of the American Chemical Society: Founded in 1879, is the flagship journal of the American Chemical Society and the world's preeminent journal in all of chemistry and interfacing areas of science. This periodical is devoted to the publication of fundamental research papers and publishes approximately 19,000 pages of Articles, Communications, and Perspectives a year. Published weekly, JACS provides research essential to the field of chemistry.

- CiteScore: 14,05
- Source Normalized Impact per Paper (SNIP): 2,641
- SCImago Journal Rank (SJR): 8,127

4.5 Evaluators vurdering

Europa har vært ledende på forskning på nøytroner med bakgrunn i tilgang til flere mindre reaktorer for utprøving og opplæring, og noen større for mer avansert forskning. For Norge sin del har JEEP II-reaktoren fungert som inngangsport inn i dette europeiske miljøet. Det har også vært miljøet rundt JEEP II-reaktoren som har vært tiltenkt en sentral rolle i fremtidig utnyttelse av den norske investeringen inn mot ESS. Utnyttelse av ESS og deltagelse i internasjonale prosjekter er begge områder hvor nedleggelsen av JEEP II potensielt kan ha negative konsekvenser.

Det er på nytten Norge vil få ut av investeringen i ESS at nedleggelsen av JEEP II har størst konsekvenser, ikke på Norges forpliktelser til ESS. Norges forpliktelser vil i stor grad være mulig å gjennomføre uavhengig av reaktoren, så lenge kompetansen på nøytroninstrumentering blir værende i Norge frem til ESS er ferdig konstruert. Norges In-kind forpliktelser til ESS er fordelt på flere universiteter og institutter i Norge, og IFEs bidrag til bygging av instrumenter kan gjennomføres uten tilgang på JEEP II. Norge har også forpliktet seg til å bidra til drift av ESS, men dette vil først og fremst være økonomiske bidrag, og det er derfor heller ikke avhengig av JEEP II. Det er derfor ikke Norges forpliktelser til ESS at nedleggelsen av JEEP II har konsekvenser, men heller på nytten Norge vil få ut av denne investeringen. Tilgang til mindre nøytronkilder er viktig av tre grunner: opplæring av nye brukere, mulighet til å gjennomføre «enklere» eksperimenter og utprøving av ideer før prosjektet tas videre til ESS. Uten enkel tilgang på en nøytronkilde blir alle disse tre områdene problematiske med tanke på utnyttelsen av ESS og spesielt i lys av at nøytrontørken i Europa gir ytterligere innskrenkninger på tilgang. Norge vil få veldig begrensede muligheter til å benytte seg av ESS når denne står ferdig dersom det ikke finnes noe sted å prøve ut prosjekter og lære opp nye brukere. Enklere prosjekter som også kan bidra med nyttig forskningsinformasjon vil det heller ikke være åpent for å gjennomføre i ESS. ESS er kun tiltenkt til de aller høyest vurderte prosjektene. En erstatning for dette må finnes hvis det er et ønske om at Norge skal kunne benytte seg av investeringen i ESS, spesielt på lang sikt når opplæringsmuligheter for nye forskere blir vanskeligere med avviklingen av JEEP II.

JEEP II har hatt internasjonal betydning gjennom at reaktoren har bidratt til å trekke internasjonale forskere til IFE og dermed skape et internasjonalt nettverk. Forskermiljøet knyttet til reaktoren har også være høyt anerkjent internasjonalt med flere publikasjoner i internasjonalt anerkjente tidsskrifter. Reaktoren har bidratt til å skaffe IFE internasjonale prosjekter, spesielt innenfor EU. IFE har, nettopp på grunn av enkel tilgang til nøytroner, vært en attraktiv samarbeidspartner i mange av prosjektene de har deltatt i. Uten reaktoren vil det sannsynligvis bli vanskeligere for IFE å vinne EU prosjekter.

5. Næringsmessig og økonomisk betydning

Dette kapitlet belyser problemstillingene;

- *Hva er den næringsmessige betydningen av IFEs virksomhet knyttet til JEEP-II, med hensyn til:*
 - *samarbeidsprosjekter og kunnskapsoverføring til næringslivet*
 - *patenterings- og lisensieringsvirksomhet*
 - *opprettelse av bedrifter og omsetning i bedriftene*
- *Hva er den overordnede kost-nytte-vurdering av fortsatt drift av JEEP II- overgår nytteverdiene ved driften kostnadene?*

5.1 Reaktordriftens betydning for næringslivet

Instrumentene i JEEP II reaktoren har til nå vært primært rettet mot grunnforskning og grunnleggende forståelse av materialer. Med oppgraderingen av instrumentene ved reaktoren gjennom NcNeutron ville derimot to av de syv instrumentene ved reaktoren ha vært mer rettet mot anvendt forskningsprosjekter og industri. De to instrumentene var for nøytronavbildning/radiografi og for å måle restspenning i materialer.⁴⁵ Imidlertid tyder datagrunnlaget vårt på at det har vært et til dels uutnyttet potensial for samarbeidsprosjekter med næringslivet som partnere. I denne evalueringen er det gjennomført en webbasert spørreundersøkelse til utvalgte brukere og samarbeidspartnere av den forskningsmessige aktiviteten, produkter og tjenester tilknyttet JEEP-II-reaktoren. Spørreundersøkelsen ble fulgt opp med en ringerunde til respondentene for å få vite mer om hvordan forskning fra JEEP II blir brukt i bedriftene. Samtidig var det et ønske om å respondentenes vurdering om hvor viktig de mener at forskningen fra JEEP II er for utvikling av nye produkter og prosesser (innovasjon) i deres bedrift? Et overaskende funn fra denne ringerunden er at respondentene hadde reflektert lite over dette, og hadde få eller ingen vurderinger om forskningens nytteverdi og betydning for deres respektive bedrifter.

Det at respondentene i en stor grad ikke kunne svare på spørsmål om nytteverdi av forskningen som kom fra JEEP II, kan være at forholdet mellom grunnforskning og anvendt forskning ofte fremstilles som to motparter. Det sentrale for grunnforskning er en søken etter ny kunnskap som ikke nødvendigvis fører til umiddelbare målbare gevinster, mens anvendt forskning først og fremst er rettet mot å løse praktiske mål eller anvendelser. Forskningen ved JEEP II og de innovasjonene som reaktordriften har ledet ut i viser flere eksempler på at det ikke er noen motsetning, snarere er det snakk om en gjensidig avhengighet. Grunnforskning er nemlig en investering som samfunnet gjør og som gir avkastning i form av blant annet anvendt forskning.

⁴⁵ Selvevaluering IFE

JEEP II har betydning for næringslivet, ettersom grunnforskningen som har kommet ut av forskningsmiljøet har tilført stor nytteverdi. Potensielt kan innsikter som er brakt til veie gjennom JEEP II ha langt større rekkevidde enn vi har hatt mulighet til å skissere i vår utredning. Et viktig moment er at det kan ta lang tid, gjerne flere tiår, før forskningsbidrag fører til et teknologisk gjennombrudd. Det er også gjerne summen av en rekke aktiviteter over tid som gir effekter. Anvendelsesområdene for dagens forskning ved JEEP II-miljøet er innenfor viktige strategiske satsningsområder for norsk næringsliv. Nøytronforskning kan spille en sentral rolle for det grønne skiftet, gjennom videreutvikling av litumbatterier, solceller, hydrogenlagring og karbonfangst, samt for utvikling av nye legemidler og medisinske metoder. Andre industrielle anvendelser som kan trekkes fram er halvledere, sporstoffer, og kraftige magneter. Viktige gjennombrudd kan altså komme som et direkte resultat av forskning utført med bruk av reaktoren som forskningsinfrastruktur.

Men selv om det i ettertid viser seg at de store gjennombruddene ikke kom som en direkte følge av reaktoren, kan rollen den har hatt for å bygge opp ekspertise på bruk av nøytronspredning som metode føre til at norsk næringsliv blir i stand til å dra nytte av internasjonal nøytronbasert forskning. Forskningen vil ikke lede til suksess uten at miljøer som potensielt kan ha nytte av den har kompetanse og ressurser til å ta den i bruk. Samarbeidsrelasjoner mellom kunnskapsmiljøer, som sannsynligvis ikke ville oppstått uten reaktoren, gir også potensiale for overføring av kunnskap mellom ulike fagdisipliner, som øker potensialet for å videreutvikle teknologi og metoder gjennom bruk i nye kontekster. Teknologi og metoder som har opphav i forskningen ved IFE-Kjeller er utførlig beskrevet i kapittel 2.1, og kapittel 3.3.1 redegjør for patentering, lisensiering og opprettelse av bedrifter. Den direkte økonomiske betydningen av disse oppstartsbedriftene med unntak av SUNPHADE AS som ikke er regnskapspliktige, framstilles i tabellen nedenfor. Tabellen bygger på offentlige regnskapstall og viser omsetningen de har i perioden siden de ble opprettet:

Tabell 5: Omsetning i oppstartsbedriftene siden opprettelsen

Bedrift	=< 2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Totalt
CONDALIGN AS		150	676	1 359	2 447	1 593	1 027	627	133	8 012
HYSTORSYS AS	3 245	1 615	54	0	1 023	169	133	592	155	3 741
GIAMAG TECH-				0	30	330	247	959	230	1 796
N-TEC AS	2 211	64	959	1 909	1 817	693	0	0	0	5 442
Totalt	5 456	1829	1689	3268	5317	2785	1407	2178	518	18991

Kilde: Proff Forvalt

Som vi ser av tabell 5 har oppstartsbedriftene samlet hatt en omsetning på nesten 19 millioner NOK, som er en relativt beskjeden sum. Imidlertid fanger ikke tabellen opp den verdiskapningen som har kommet som et resultat av at andre næringslivsaktører har tatt i bruk produkter, teknologi eller metoder som ikke ville vært tilgjengelige for dem, uten at IFE og andre kunnskapsinstitusjoner hadde hatt tilgang på JEEP II. I tillegg er vurderingen gjort med utgangspunkt i en begrenset periode og et begrenset utvalg bedrifter.

5.2 Overordnet kost-nytte vurdering

I dette kapitlet presenteres en gjennomgang av hvilke nytteeffekter som forventes å gå tapt ved nedleggelse av reaktoren på Kjeller. Nytteverdien vurderes opp mot de kostnader som ville påløpt ved videre drift. I og med at det allerede er vedtatt at reaktoren på Kjeller skal legges ned, vil analysen ha en tilbakeskuende fremstilling av de viktigste nytteeffekter ved JEEP II, samtidig som vi vil skissere hvilke nytteverdier som kan forventes å gå tapt ved nedleggelsen dersom det ikke gjøres strategiske grep for å sikre kontinuiteten i kompetansemiljøet. I henhold til mandatet evalueres nytteeffektene opp mot de kostnader som påløp ved ordinær drift av reaktoren. Dette innebærer at fremstillingen ser bort fra de investeringskostnader som ville kreves for å utbedre problemene med korrosjon på komponenter for å oppnå god nok sikkerhet. Kostnader forbundet avfallsbehandling og lagring, dekommisjoneringskostnader, så vel som eventuelle ulykkeskostnader vil heller ikke bli inkludert i denne analysen. Slik sett er ikke dette en nytte-kostnadsanalyse i ordets rette forstand, men snarere en sammenligning av de samfunnsmessige nytteeffekter opp mot driftskostnadene for et normalår der en benytter elementer fra nytte-kostnadsanalyse som metodisk rammeverk.

5.2.1 Kostnader

En tilnæringsmåte for å stille opp et slikt nytte-kostnadsregnskap er å splitte regnskapet opp i en bedriftsøkonomisk analyse og deretter i en samfunnsøkonomisk analyse (som da evaluerer alle positive og negative effekter med unntak av dem som er inkludert i den bedriftsøkonomiske analysen). Grovt skissert vil en bedriftsøkonomisk analyse for aktiviteten knyttet til JEEP II i hovedtrekk se ut som følger (for år t):

Inntekter ved drift f.eks.:

- *Bestrålingsinntekter*
- *Betaling for bruk av instrumentene*
- *Fjernvarme*
- *Salg av isotoper*
- *Internasjonale forskningsmidler* I_t

Utgifter, blant annet:

- *FoU og prosjektaktivitet* $K1_t$
- *Drift av reaktor (stab, sikkerhet, brensel, etc.)* $K2_t$

Driftsresultat fra aktivitet knyttet til reaktoren	$I_t - (K1_t + K2_t)$
----------------------------------------------------	-----------------------

Dersom dette driftsresultatet er negativt vil analysen fra den bedriftsøkonomiske analysen avdekke hvilken besparelse det norske samfunnet kan oppnå i år t ved en eventuell nedleggelse av denne reaktoren. Det er denne besparelsen man må sette opp mot eventuelle samfunnsøkonomiske gevinster og ulemper. En enkel tilnærming til dette spørsmålet er å ta utgangspunkt i den delen av den offentlige støtten som er knyttet mot JEEP II, og la denne støtten representere det negative driftsresultatet fra

den bedriftsøkonomiske analysen, og som IFE Kjeller må fra tilført fra det offentlige for å drifte JEEP II. Denne tilnærmingen har vært benyttet i en tidligere nyttekostnadsanalyse av IFE⁴⁶.

Det er to potensielle svakheter ved en slik tilnærming: For det første antar man implisitt at hele støtbeløpet faktisk blir brukt til å drive forskningsinfrastrukturen tilknyttet reaktoren. Dermed neglisjeres muligheten for at beløpet potensielt kan brukes til andre formål. For eksempel kan det tenkes at kostnader som er ført på reaktordrift til en viss grad er reaktorrelatert og til en viss grad relatert til annen aktivitet. Dette har vi ingen mulighet til å ettergå ved denne metoden. For det andre klarer man ikke å isolere den pengestrømmen som er knyttet mot reaktoren fra IFEs øvrige virksomhet. For eksempel kan overskudd ved andre deler av virksomheten brukes til å redusere underskudd i den delen av aktiviteten som knyttes opp mot JEEP II. I et tenkt eksempel har IFE Kjeller to typer aktiviteter: (A) reaktoraktivitet og (B) annen aktivitet. Anta at aktivitet A går med et underskudd, og dette underskuddet skyldes høyere kostnader ved reaktordriften. Aktivitet B går med overskudd og dekker opp underskuddet til aktivitet A. I dette eksempelet er kostnaden ved reaktordriften lik summen av den offentlige støtten og den delen av overskuddet fra aktivitet B som er brukt på å dekke de økte kostnadene ved reaktordriften.

Alternativt, for å bøte på de ovennevnte svakheter, kan man gjennomføre en mer detaljert bedriftsøkonomisk analyse av IFE, der man trekker ut alle forhold på inntekts- og kostnadssiden som kan relateres til JEEP II. Denne type tilnærming har vært benyttet i en tidligere analyse av reaktordriften ved IFE Halden⁴⁷. Et problem med en slik tilnærming er at drifts-, balanse- og kontantstrømregnskap ikke er stilt opp på en måte som synliggjør reaktordriften presist. Man må da nærmest dykke ned i hvert enkelt bilag for å få stilt opp et regnskap med det mål for øyet at en skal kunne skille ut reaktordriften. Dersom man for eksempel hadde tatt utgangspunkt i regnskapene slik de foreligger i årsrapportene for perioden 2018-2019 vil en slik splitting være umulig.⁴⁸ I tillegg har IFE endret organiseringen av aktiviteten, fra april 2015, der de slo sammen deler av aktiviteten fra reaktordriften ved Halden med deler av reaktoraktiviteten ved Kjeller.

Tilnærmingen som er benyttet er i hovedtrekk den samme som ble valgt ved nytte-kostnadsanalysen av IFE fra 2008. Den delen av støtten fra Forskningsrådet som er relatert til JEEP II blir da stående som et uttrykk for den bedriftsøkonomiske kostnaden. For perioden fram til 2014 er dette en egen øremerket bevilgning, men etter 2014 er det den delen av basisbevilgningen som IFE har allokert til reaktordrift, og dette baseres på IFEs egen redegjørelse. Det er dette beløpet som må dekkes inn av de øvrige samfunnsøkonomiske (netto)nyttegevinstene for at drift av reaktoren skal være ønskelig fra et samfunnsøkonomisk perspektiv.

I årsrapportene fra Forskningsrådet finner man støttebeløpene som årlig gis til de ulike instituttene i Norge. Et problem med dette datamaterialet er en endring i Forskningsrådets rapporteringspraksis fra 2013 til 2014. Frem til 2014 var grunnbevilgning, SIP-støtte og støtte til forvaltningsoppdrag som for

⁴⁶ Hervik m.fl. (2008): «Nukleære virksomheter ved Institutt for energiteknikk-IFE: En samfunnsøkonomisk kost/nytte-analyse»

⁴⁷ Heen m.fl. (2013): «Utredning av omstilling i Halden med og uten videreføring av IFEs øvrige forskningsaktiviteter etter dekommisjonering av Haldenreaktoren»

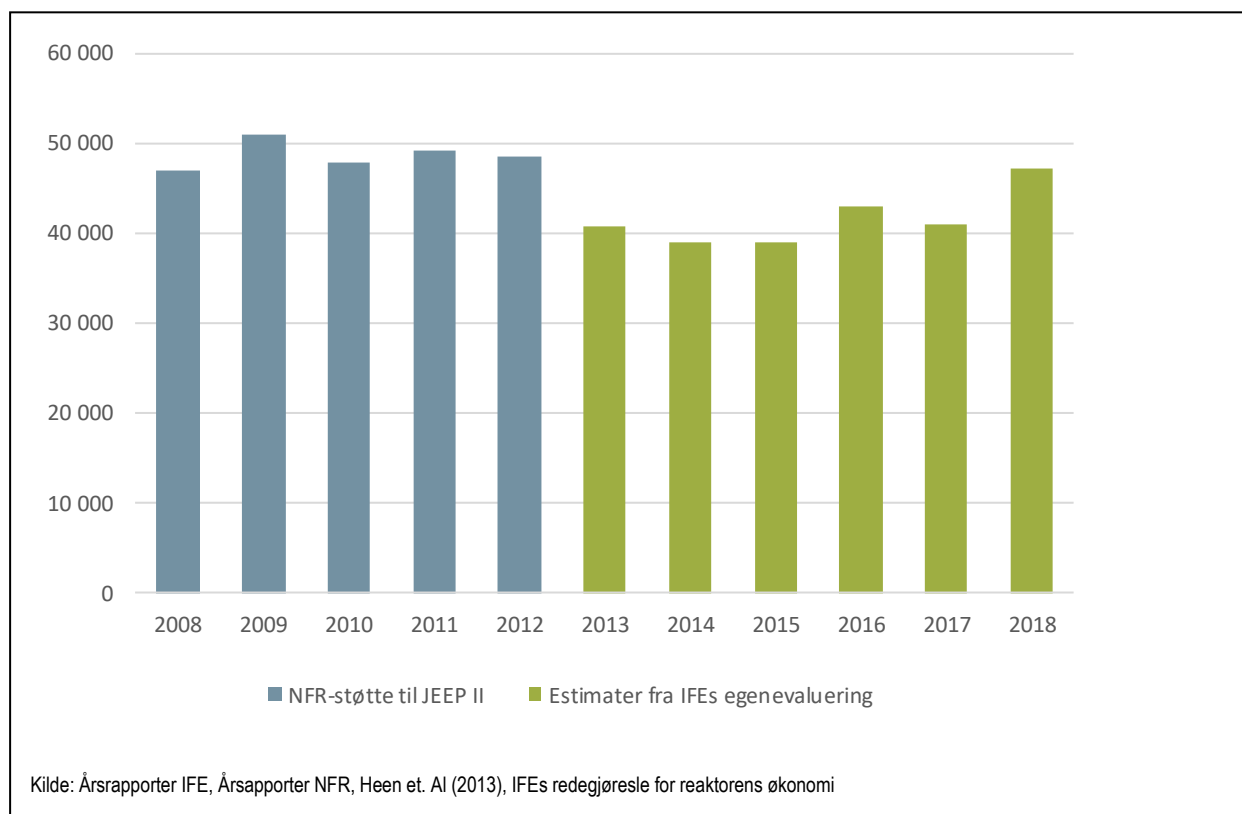
⁴⁸ For perioden 2008-2010 er det imidlertid mulig å gå i note 2 for å finne ut hvor mye av Forskningsrådets støtte som er øremerket til reaktordrift.

IFEs del relaterer seg til drift av reaktorene splittet. Fra og med 2014 ble grunnbevilgning og støtte til forvaltningsoppdrag slått sammen til posten basisbevilgning.

I beregningen av det kostnadsbeløp som er knyttet opp mot JEEP II benytter vi oss av følgende kilder:

- Årsrapportene til IFE for perioden 2008-2017
- Årsrapportene til Forskningsrådet fr perioden 2008-2017
- Heen et al. (2013) som gjør det mulig å splitte reaktorstøtte til Halden og Kjeller for perioden 2007-2012
- IFEs egnevaluering av kostnader og inntekter av reaktorens økonomi for perioden 2013-2018

Figur 13: Estimerte driftskostnader IFE Kjeller



Kostnadsestimatene varierer i området 40-50 millioner NOK årlig. Figur 13 viser at de øremerkede midlene fra forskningsrådet (perioden 2008-2012) er noe høyere enn IFEs egne estimater av driftskostnadene (perioden 2012-2018). Dette skyldes at IFE i denne perioden fikk en egen bevilgning til «Nukleære anlegg på Kjeller». Hoveddelen ble brukt for å dekke driftskostnader ved reaktoren, mens noe ble brukt til strålevern og andre aktiviteter som er nødvendig for reaktoren. Når det gjelder IFEs estimater viser den en forholdsvis konstant kostnadsbase for perioden. Basert på estimatene i figuren er det en årlig kostnadsbase knyttet til drift av JEEP II om lag 45 millioner NOK. Når det gjelder eksterne inntekter fra reaktordriften har IFE angitt at disse varierer mellom 10-15 MNOK. Dette innebærer at de årlige nettokostnadene som er knyttet til reaktoren ligger i størrelsesorden 30-35 millioner NOK. Det er disse kostnadene som må motsvares av de øvrige samfunnsøkonomiske nyttegevinstene.

5.2.2 Nytteverdier

Vi vil nå se på de ulike nytteverdiene som kan gå tapt med avviklingen av JEEP II. Nytteverdiene og eventuelle tap er ikke forsøkt kvantifisert. Spørsmålet knyttet til hvor mye nytte som er generert av JEEP II dreier seg både om hvor mange den har kommet til gode, og hvor stor nytte den har hatt for disse. Vi vil vurdere nytteverdiene for forskning, utdanningssystemet og næringslivet separat for analytiske formål. I realiteten er disse tett sammenvevd.

Nytte for forskning

De som har hatt mest direkte nytte av JEEP II er forskere ved IFE og andre forskningsinstitusjonene (nevnt i kap. 3.2). Dette er en relativt liten gruppe forskere. Anvendelse av reaktoren og instrumentene til å gjennomføre tester, undersøkelser og eksperimenter har gitt svar på forskningsspørsmål som disse personene ikke kunne oppnådd ved hjelp av andre metoder. Bruk av reaktoren har dermed ledet til vitenskapelige innsikter som videre har blitt formidlet i forskningsrapporter og publisert i vitenskapelige tidsskrifter innenfor fysikk, materialvitenskap, kjemi, biologi, medisin og andre disipliner.

Slik har andre forskere som driver med relatert forskning kunnet bygge på disse innsiktene og drive sin egen forskning lengre. Dermed er det totale antallet forskere som har hatt nytte av forskningen antagelig høyere. Rapporten vår viser at forskningsmiljøet ved IFE har vært produktive når det gjelder publikasjonsvolum, har en høy andel publiseringer i topptidsskrifter, blitt sitert like mye som sammenlignbare institusjoner internasjonalt og blir omtalt fremragende på sine spesialfelt av informanter i intervjuer og i resultatene fra spørreundersøkelsen. Vi har ikke undersøkt vitenskapelige publikasjoner som er produsert av andre forskningsmiljøer der forskningsinfrastrukturen ved JEEP II er blitt anvendt, men ut fra spørreundersøkelsen tyder empirien vår på at et stort flertall av brukerne har hatt god nytte av tilgang til anlegget.

Før man søker stråletid ved større nøytronkilder, er de norske forskerne avhengige av å kunne trene og gjennomføre føreksperimenter ved mindre nøytronkilder. De norske aktørene som direkte eller indirekte har vært brukere av JEEP II, fremhever nettopp lav terskel for tilgang til JEEP II-fasilitetene som en av reaktorens største fordeler. Dette har gjort det mulig å bygge opp en teknisk og analytisk kompetanse, samt en prosjektportefølje som gjør det mulig å demonstrere denne, i forbindelse med prosjektsøknader og søknader om stråletid ved større nøytronkilder.

Utover den direkte nytten som har kommet ut av å kunne bruke nøytronspredning som metode, har JEEP II fungert som et kunnskapsnav i nøytron- og isotopororientert forskning. Forskningsmiljøet ved IFE-Kjeller arrangerer blant annet Geilo-skolen, som formidler viktige resultater fra forskningsfronten i materialvitenskap. Sammen med kompetente forskere gjør tilgangen til en nøytronkilde de norske aktørene til attraktive samarbeidspartnere i internasjonale prosjekter. Uten JEEP II er det lite sannsynlig at norske forskere ville hatt muligheten til å bygge opp et tilsvarende internasjonalt faglig nettverk.

Nytte for utdanningssystemet

JEEP II har spilt en rolle for utdanningstilbudet i realfag først og fremst når det kommer til bruken av nøytronspredning som metode og materialvitenskap. På dette feltet ble samarbeid med UiO tidlig inngått og fagmiljøet ved IFE har stått for undervisning innen fysikk i høyere utdanning siden 50-tallet. UiO har vært IFEs mest sentrale samarbeidspartner og det er primært ved UiO og NTNU at JEEP II har spilt en rolle for undervisning i realfag. En rekke emner er tilbudt ved disse institusjonene i en årrekke, og selv om antallet deltagere på hvert emne har vært forholdsvis lite, har de til sammen nådd et betydelig antall studenter.

Nytten av å ha tilgang til forskningsinfrastrukturen i denne sammenheng består blant annet i å kunne basere undervisning på konkret forskning og erfaring med bruk av instrumentene og analyse av data-materialet. Uten reaktoren er det tvilsomt om det i det hele tatt ville blitt tilbudt emner i bruk av nøytronspredning som metode ved høyere utdanningsinstitusjoner.

Videre har masterstudenter og doktorgradskandidater fått muligheten til å benytte forskningsinfrastrukturen til å gjennomføre eksperimenter og dermed bygge opp sofistikert teknisk og analytisk kompetanse. Blant annet har emner hatt lab-oppgaver og det har blitt gjennomført praktiske kurs ved JEEP II. Tilgangen til instrumentene kan i seg selv ha ført til økt interesse for nøytronbasert forskning blant studenter, som igjen kan ha ført til at flere har valgt å gå videre med nøytronforskning som karrierevei enn det som ellers ville vært tilfellet. Siden 2008 har avdeling Nøytron ved JEEP II veiledet 15 Ph.d. studenter fra norske institusjoner, 8 internasjonale Ph.d. studenter og 24 masterstudenter.

Nytte for næringslivet

Dersom en isolert skal vurdere hvilken rolle JEEP II har hatt for utvikling av bedrifter og økt verdiskapning, og om grunnlaget for vurderinger baseres ut fra et retroperspektiv, kan det muligens konkluderes med at JEEP IIs betydning er beskjeden. Som nevnt innledningsvis i kapitlet har ikke næringslivet brukt reaktoren direkte i nevneverdig grad, og spinoff-bedriftene fra IFE-miljøet har til sammen hatt en omsetning på en halv til fem millioner kroner årlig. Imidlertid er en slik konklusjon problematisk. For det første er det slik at den økonomiske avkastningen fra forskningsresultater kommer lenge etter at forskningen er avsluttet, gjerne med en 20-30 års tidsforskyvning⁴⁹. For eksempel ble det vitenskapelige fundamentet for laserteknologi utviklet av Einstein i 1916, men den kommersielle anvendelsen først kom på 1960-tallet.

⁴⁹ Adams, J., (1990): "Fundamental stocks of knowledge and productivity growth". *Journal of Political Economy* 98, 673–702

Det har vokst fram et fagmiljø rundt JEEP II som har høy grad av innsikt i fagområder som har stort potensiale for kommersiell utnyttelse. Forskningen deres har lagt et viktig grunnlag for å utvikle materialer, metoder og prototyper som kan være viktige brikker i arbeidet med å utvikle mer miljøvennlige og kostnadseffektive produksjonsmetoder og produkter. Den økonomiske betydningen og miljømessige betydningen dette kan vise seg å ha er langt fra avklart.

5.3 Evaluators vurdering

Det er viktig å understreke at denne evalueringen ikke har vurdert verken de samlede nytteverdiene eller kostnadene som JEEP II har generert fra konstruksjonsfasen startet i 1965 til i dag og kostnadene knyttet til den framtidige dekommisjoneringen. Det er ikke satt av nok midler til å dekke behandling og deponering av radioaktivt avfall, og kostnadene til opprydningsarbeidet har evaluator ikke noe grunnlag for å vurdere. I henhold til mandatet har evalueringen fokusert på en begrenset periode og vurdert om nytten for samfunnet overstiger de løpende utgiftene som offentlige myndigheter har hatt til anlegget. Hvorvidt driften av JEEP II kan forsvare en offentlig årlig utgift på 30-35 millioner NOK er utfordrende å gi et presist svar på.

Evaluator vurderer at en av de største verdiene av JEEP-II er knyttet til opsjonene med hensyn til forskning og utvikling. Forskning handler om å skape muligheter. Forskning, utvikling og innovasjon er prosesser med stor usikkerhet, der gevinstpotensialet kan være stort for noen få. Norge har overvekt av mange små bedrifter. Disse er ikke i stand til å bære kostnaden av å investere i og drifte et anlegg som JEEP II. Dermed er det behov for at offentlige myndigheter gjennomfører slike store FoU investeringer.

Det er ikke slik at en kan isolere effekten av forskningen knyttet til JEEP II. Forskning foregår i samspill med andre nasjonale og internasjonale aktører. Verdien av forskningen ved JEEP II må også sees i sammenheng ved øvrig FoU infrastruktur. Fra et samfunnsøkonomisk perspektiv har det ingen betydning om det er forskning fra JEEP II som gir grunnlag for et forskningsresultat ved UiO, eller omvendt.

Nøytronspredning som metode har ingen naturlige substitutter og har potensial for å skape verdier og kunnskap for samfunnet innenfor flere områder som nye energikilder, hydrogenlagring, radiofarmasi, magnetisme, biologi og medisin. Potensialet for verdiskapning innenfor disse områdene overstiger etter evaluators vurdering de årlige bevilgningene til drift av reaktoren. Selv om det i denne utredningen ikke har vært mulig å tallfeste nyttegevinstene av forskning ved JEEP II, vurderes den offentlige støtten som beskjeden i forhold til investeringene.

6. Anbefalinger

De anbefalingene som fremkommer basert på utredningens og evalueringens funn er preget av at aktiviteten ved JEEP II er besluttet lagt ned. Med stengingen av JEEP II er en viktig del av infrastrukturen for grunnforskning og FoU-prosjekter forsvunnet. Uten infrastruktur som inkluderer reaktorfasiliteter vil det være umulig å gjennomføre tester, forsøk og eksperimenter med nøytronspredning som metode. Funn i denne utredningen viser at forskningsmiljøet ved IFE har vært, og er i verdens-toppen. Anbefalingene er derfor mot kort- og langsiktige strategiske grep for å beholde og videreutvikle kompetansemiljøet og Norges anerkjente posisjon i internasjonal forskning og utvikling knyttet til nøytronspredning. Dette er spesielt viktig hvis Norge ønsker å ha forskningsmessig nytte av investeringene i ESS i Sverige.

Grunnforskning og FoU ved JEEP II er av en art som er viktig for utvikling av kunnskap og viten for fremtidens teknologier. Å bygge og drifte infrastruktur innenfor et forskningsfelt som krever gjennomføring av forsøk, tester og undersøkelser ved hjelp av en reaktor, er dyrt. Dette er kostnader som selv ikke store selskaper vil kunne forsvare, selv om resultatene er viktig for videre utvikling innenfor deres prosess- og produktinnovasjon. Spesielt grunnforskning er en aktivitet som gir samfunnsøkonomiske gevinster eller kostnader og som enkeltaktørene ikke blir godskrevet eller belastet for økonomisk i markedet. Reaktorer, lik JEEP II, er og har vært viktige bidrag knyttet til utvikling av nye eller forbedre energikilder, solcelleteknologi, hydrogenlagring, litiumbaterier, kreftmedisin og behandling med mer. JEEP II har vært en plattform for å være på arenaer i fremtiden der utvikling og de store gjennombruddene kommer. Med fjerning av en del av infrastrukturen for forskning, vi fjerner en opsjon på fremtidens nyvinninger. Vi mister muligheten til å være med på nye oppdagelser og til å fremme og kommersialisere nyvinninger. Kompetanse ved JEEP II har vært i utvikling siden det norske reaktormiljøet begynte sitt arbeide med JEEP i allerede i 1967. Dersom kompetansen forvitrer, vil kostnadene med å bygge det opp igjen være enorme.

Myndighetenes oppgaver er å korrigere der samarbeidspartnere, forskere, oppdragsgivere med flere, ikke vil kunne ha egne ressurser eller spesialisert kompetanse for reaktordrift. Spesielt grunnforskning er en aktivitet med positive bidrag, men er samtidig samfunnsbidrag som en bedrift ikke vil kunne betale for. Storsamfunnet har en viktig rolle til å utdanne kommende generasjoner av forskere og til å legge til rette for god infrastruktur for forskning. Investeringer og drift av nøytronkilder er en måte for staten å ta samfunnsansvar for morgendagens teknologiske nyvinninger. På den andre siden er det å bygge ned eller avvikle forskning som avdeling Nøytron har drevet eller bidratt til, vil være å hoppe av en potensiell utviklingsmulighet der man i framtiden vil kunne se de store gjennombruddene i samfunnsutviklingen. Nå når JEEP II er stengt er det viktig å gjøre noen strategiske grep som gir Norge fortsatt mulighet til å delta i utviklingsspor som kommer i fremtiden.

Det er vanskelig å isolere den økonomiske verdiskapningen som kommer direkte fra JEEP II. Selv om resultatene fra JEEP II synliggjøres gjennom vitenskapelige artikler, vil forskningsresultatene være viktige også i utviklingsprosesser blant aktører som driver eller benytter seg av anvendt forskning og som er FoU-drevet. Reaktorer, som JEEP II, har stor betydning for å bringe tilveie kunnskap for morgendagens teknologi innenfor et bredt spekter av fagområder. Samtidig består brukerne av

nøytronkilder og forskning ved hjelp av nøytronspredning, innenfor et diversifisert sett av aktører som for eksempel industri og helse. Det legger til rette for læring og crossover mellom ulike sektorer.

Hvilke muligheter som eventuelt vil kunne realiseres i fremtiden gjennom nøytronspredning vil imidlertid alltid være en ukjent faktor. Det man antar er imidlertid at grunnforskning og FoU for å forstå materialers egenskaper, materialers bevegelsesmønster, strømminger og så videre, vil være viktige bidrag også for bærekraft og det grønne skiftet. Basert analysene fra det empiriske materialet har evalueringsteamet følgende anbefalinger;

Kort sikt:

- Sikre at kompetansemiljøet ikke forvitrer ved IFE
- Forpliktende samarbeidsavtaler med andre reaktorer/ nøytronkilder

Lang sikt:

- Utrede muligheten for å etablere en lineærakselerator

6.1 Sikre kompetansemiljøet

Om en nasjonal nøytronkilde er avgjørende for fremtidig norsk nukleær kompetanse vurderer evalueringsteamet som avhengig av hvilke grep som gjøres for å sørge for at det norske nøytronmiljøet blir ivaretatt når JEEP II nå er nedstengt og hvilken tilgang de får til alternative nøytronkilder. Dersom Norge ikke klarer å etablere en god relasjon til en alternativ nøytronkilde, eller eventuelt investerer i ny infrastruktur for nukleær forskning, står det norske miljøet med spiss forskningskompetanse i fare for å smuldre opp.

Forskningsmiljøet tilknyttet JEEP II er anerkjent internasjonalt og er en viktig gruppe forskere for IFE miljøet. Erfaringer fra andre lokasjoner der reaktorer har blitt lagt ned har vist at kompetansemiljøer lett forvitrer med nedbygging av forskningsinfrastruktur. Forskere trenger muligheter og verktøy for å forske også i praksis. Selv om forskerne tilknyttet JEEP II har fått beskjed om at de ikke skal legge ned forskningskompetanse, vil de måtte jobbe med andre ting og samtidig ha andre forutsetninger for å gjennomføre forskningsprosjekter. Det kan bidra til usikkerhet om egen forskerkarriere. Mangel på fasiliteter eller tilgang til fasiliteter kan også gjøre vanskeligere både å rekruttere studenter inn i utdanningsløp, men også å tiltrekke seg kompetanse gjennom rekruttering av nye medarbeidere. For å opprettholde forskningsmiljøets og aktørene rundt JEEP II bør man raskest mulig jobbe frem og forankre en nasjonal strategi for hvordan:

- ivareta og beholde kompetansen i de norske aktørbildet
- opprettholde relasjonene mellom IFE og avdeling nøytron og UH-sektoren og FoU-miljøene
- sikre fortsatt opplæring av kommende forskere og brukere av nøytroner
- fremme læring og crossover på tvers av fagfelter
- fremme nye og eksisterende oppdragsgivers tilgang til fasiliteter for bruk av nøytroner og isotoper i fremtidige innovasjoner og innovasjonsprosesser

- redefinere NcNeutrons rolle når ny infrastruktur for forskning etableres og realiseres

6.2 Samarbeid med andre reaktorer/ nøytronkilder

I utredningen kommer det tydelig frem at ESS reaktoren vil være lite tilgjengelig for de aller fleste forskere som bruker nøytronspredning som metode. ESS er heller ikke ferdigstilt før tidligst 2025. JEEP II har vært et viktig «hjemmelaboratorium» som har vært nært og lett tilgjengelig for både norske og utenlandske brukere og oppdragsgivere. Reaktoren har vært et viktig argument og en sentral inn-satsfaktor for norsk deltakelse i internasjonale forskningsprosjekter. Det vil ikke være mulig å tilby reaktortjenester på norsk jord slik situasjonen er i dag. For å fremdeles kunne drive forskning og kunne tilby reaktorfasiliteter er det viktig at IFE går inn i forpliktende samarbeidsavtaler med andre nøytronkilder, lik JEEP II, i utlandet. Dette er et tiltak som er gjennomført av andre land når deres egen hjemmereaktor har blitt lagt ned. Tid i felt vil være essensielt for opplæring og utdanning av kommende forskere, mulighet til å gjennomføre eksperimenter, forsøk og undersøkelser, samt crossover og læring på tvers av fagfelt.

Samarbeidsavtaler bør være så forpliktende at det gir forskerne tilnærmet like god tilgang til reaktorfasiliteter lik det som de hadde ved JEEP II. For å få til det bør Norge være villig til å flytte egne instrumenter til andre reaktorer, investere i nødvendig utstyr, instrumenter og bidra til kompetanseutvikling i andre lands reaktorer. Det bør gjøres et større utredningsarbeid for å avklare hvilke av reaktorene eller nøytronkildene Norge er best tjent med å samarbeide med, og hvordan man skal forankre disse aktørene i forsterket og gjensidig forpliktende samarbeidsrelasjon i IFE-miljøet.

6.2.1 Flytting av instrumenter

I utviklingen av JEEP II er det bygget en rekke instrumenter som med mindre eller større korrigeringer og justeringer kan tas i bruk ved andre nøytronkilder. En del av instrumentene ved JEEP II vil imidlertid ikke være mulig å flytte da de er utviklet for konkret bruk ved JEEP II. Det bør avklares hvilke av instrumentene som kan benyttes ved alternative reaktorfasiliteter og hvordan disse skal brukes ved andre reaktorer. En del av instrumentene som har vært under utvikling gjennom NcNeutron er spesielt egnet for å flytte til andre reaktorer, da flere av disse fremdeles er i utviklingsfasen og enda ikke har blitt installert ved JEEP II.

6.2.2 Bidrag til bygging av instrumenter

Noen av instrumentene ved JEEP II vil etter stengingen av reaktoren gå tapt. Disse er utviklet for bruk ved denne spesifikke reaktoren og vil ikke, selv med betydelige tilpasninger, være mulig å flytte. For at vi skal kunne opprettholde et norsk miljø for nøytronforskning vil det derfor også være viktig at man har investeringsmidler tilgjengelige for utvikling av nye instrumenter for bruk ved andre reaktorer. Dette for å sikre at Norge også deltar i prosesser knyttet til utvikling av nye instrumenter. Hvilke instrumenter som det skal satses på bør være styrt av hva det er forskningsbehov og betalingsvilje for både når det gjelder grunnforskning og anvendt forskning.

6.2.3 Forskere og studenter på utveksling

Å jobbe med reaktor krever opplæring og kontinuerlig kompetanseutvikling både når det gjelder operativ drift og når det gjelder forskning. Med nedleggelsen av JEEP II forsvinner en viktig opp læringsarena for kommende forskere. Studenter ved norske utdanningsinstitusjoner, og ansatte ved IFE bør derfor ha muligheten til å praktisere og trene opp kunnskap om nøytronspredning som metode i andre reaktormiljøer.

6.3 Utrede muligheten for å etablere en lineærakselerator

Å være visjonær og delta i fremtidens utviklingsprosesser kan også betyr å gjennomføre betydelige investeringer.. Et langsiktig og strategisk grep for å sikre at Norge deltar i den internasjonale utviklingsprosessen i feltet som åpner opp for fremtidige nyvinninger og oppblomstring av nye næringer, kan være å investere i en lineærakselerator.

Lineærakselerator er et apparat som brukes for å akselerere elektroner, protoner og tyngre ioner. Iblant brukes ordet som fellesbetegnelse på alle akseleratorer hvor partikkelbevegelsen er rettlinjert. Vanligvis innbefattes ikke elektrostatiske akseleratorer, men bare de typer hvor partiklene akselereres i et høyfrekvent elektrisk felt . Partiklene akselereres gjennom tuber via en påtrykt AC spenning med høy frekvens. Banen til partiklene holdes rett ved å bruke sterke elektromagneter. En fordel med lineærakselerator sammenliknet med sykliske partikkelakseleratorer (formet som en ring), er at det er mulig å gi partiklene en høyere kinetisk energi.⁵⁰ Dette kommer av begrensningen i styrken til det magnetiske feltet som er påkrevd ved bruk av sykliske partikkelakseleratorer for å holde partiklene i sin bane. Andre fordeler med bruk av en slik nøytronkilde er at den både kan brukes til utvinning av nøytroner, isotoper og radionuklider. Samtidig vil ikke en lineærakselerator medføre avfallsutfordringer som langlivet radioaktivt avfall. Informantene ved forskningsmiljøet ved IFE, UH-sektoren og andre reaktormiljøer, er enige i at en lineærakselerator vil dekke forskeres behov for tilgang til nøytroner, isotoper og radionuklider. En lineærakselerator vil kunne bøte på den nøytrontørken som har oppstått i Europa. En slik investering vil sikre at det norske miljøet kan tilby fremdragende forskning, være en attraktiv partner i internasjonale FoU prosjekter og deltar på arenaer som gir nye utviklingsstier mot framtidens teknologi.

Å investere i en lineærakselerator vil være betydelige. Det bør derfor gjennomføres et større utredningsarbeid knyttet til hvordan og til hvem en lineærakselerator kan levere forskning, samt hva som potensielt vil være avkastningen og samfunnsgevinsten ved bygging av et slikt verktøy. Denne utredning har vist at det ved JEEP II med høy sannsynlighet var et uforløst markedspotensial for mer oppdragsforskning med kunder fra industri og helsesektoren. En investering i en lineærakselerator bør ta høyde for at dette markedet kan bli viktigere. Det er stor sannsynlighet for at man sammen med disse aktørene kan forvente seg store gjennombrudd med samfunnsmessige gevinster på lik linje som

⁵⁰ Kinetisk energi, også kalt bevegelsesenergi, er den energien en gjenstand har på grunn av hastigheten sin. Denne energien er lik det arbeidet som må gjøres for å akselerere legemet fra ro til den farten det har. Et legeme i ro har ingen kinetisk energi.

med utviklingen av litiumbatterier, flerfasestrømming, hydrogenlagring og påvirkning av harde og myke materialers egenskaper.

Vedlegg – Metodisk tilnærming

Evalueringen bygger på et sammensatt datagrunnlag hvor forskningsinnsikt og synspunkter til både IFE, brukere, samarbeidspartnere og andre omkringliggende aktører er representert. Evaluerings-teamet har videre hatt 3 møter med referansegruppen, hvor medlemmene har spilt inn både faktaopplysninger, og egne vurderinger som evalueringsteamet har behandlet i arbeidet med denne rapporten.

Intervjuer

De til sammen 26 *intervjuene* vi har gjennomført representerer en helt sentral datakilde i vurderingen av nytten JEEP II-reaktoren har hatt på ulike områder. Tidlig i evalueringsprosessen utførte teamet 4 pilotintervjuer med informanter fra hhv. IFE, NFD og utenlandske eksperter på relevante forsknings-temaer. Sammen med en gjennomgang av relevante dokumenter (se mer om dokumentstudiene under) var innspillene vi fikk fra disse intervjuene viktige i utarbeidelsen av endelige intervjuguider til intervjuer med både aktører ved IFE, omkringliggende FoU-aktører og offentlige myndigheter.

Evalueringssteamet gjennomførte 8 intervjuer med ledelsen og ansatte ved IFE som har direkte innsyn i forskningsaktivitetene ved IFE som er tilknyttet JEEP II-reaktoren. Vi har hatt enkeltvis dybdeintervjuer med 5 av de mest relevante lederne ved IFE. De ansatte ved IFE er intervjuet gjennom 3 fokusgruppeintervjuer med 4-6 deltakere i hvert intervju som har representert både nøytronbrukere og andre forskere knyttet til reaktoren. Fokusgruppedeltagerne hadde stor variasjon i lengden på tilknytningen til IFE og hvor langt de hadde kommet i karrieren. Til sammen dekker disse informantene et bredt utvalg av forskningsområdene ved IFE som bruker JEEP II i sitt arbeid.

Videre har temaet utført 13 intervjuer med brukere og samarbeidspartnere innen forskning og utdanning. Disse intervjuene ga innsikt i nøytronforskning, reaktorens betydning for næringsliv og utdanning og JEEP IIs betydning opp mot ESS i Lund. I denne informantgruppa inngikk representanter for følgende aktører: ESS, Universitetet i Oslo, Universitetet i Stavanger, NTNU, ISIS (UK), NcNeutron, PSI, Sintef og Oslo Cancer Cluster. Endelig gjennomførte vi også ekspertintervjuer med offentlige myndighetsorganer – inkludert U.D og forsvarets forskningsinstitutt. De sistnevnte aktørene gav først og fremst innspill knyttet til JEEP II-reaktorens betydning for atomberedskap og nedrustningssamarbeid.

Selvevalueringsskjema

I tillegg har evalueringsteamet utarbeidet et *selvevalueringsskjema*. Selvevalueringer er en blanding av faktaopplysninger og reflekterende tekstbesvarelser, som ble utfylt og returnert til Oxford Research. Tidshorisonten for selvevalueringen ble satt til perioden 2008-2019, ettersom den forrige utredningen av nytteverdien til JEEP II ble gjennomført i 2008.⁵¹ Formålet var primært å avgrense forskningen som har vært basert på JEEP II-reaktoren fra den øvrige forskningen ved IFE, samt å få tilsendt bakgrunnsmateriale for den videre datainnsamlingen. IFE fikk i oppgave å sammenstille flere lister over

⁵¹ ”Nukleære virksomheter ved Institutt for energiteknikk-IFE: En samfunnsøkonomisk kost/nytte-analyse”, Norges Forskningsråd, 2008

personell og aktiviteter som har vært tett tilknyttet reaktoren eller ikke ville blitt realisert uten JEEP II:

- artikler i fagfellevurderte tidsskrift
- øvrige publikasjoner
- vitenskapelig personell som aktivt har brukt reaktoren i forskningen sin
- doktorgradsavhandlinger
- anvendte forskningsprosjekter og oppdrag

Videre fikk IFE i oppgave å lage en liste over samarbeidspartnere, bidragsytere spin-offs, lisenser og patenter.

De reflekterende tekstbesvarelsene tok utgangspunkt i spørsmål knyttet til omfang og betydning av undervisning på institusjonsrelevante fagområder, deltagelse i internasjonal forskning på toppnivå (absorpsjonsmuligheter og spredning av kunnskap), nytten av forskningen, samt muligheter og utfordringer for forskningsområdene framover. Gjennom skjemaet fikk vi en redegjørelse for institusjonens samlede oppfatning av forskningsnytt av JEEP II.

Spørreundersøkelse

Basert på erfaringene fra tidligere prosjekter har evalueringsteamet også gjennomført en webbasert *spørreundersøkelse* til utvalgte brukere og samarbeidspartnere av den forskningsmessige aktiviteten, produkter og tjenester tilknyttet JEEP-II-reaktoren. Utgangspunktet for utvalget av deltakerne i spørreundersøkelsen var en liste med aktører som IFE har identifisert, og representerer kunder, bidragsytere, oppdragsgivere og samarbeidspartnere. Vi har i tillegg inkludert bedrifter som via støttebrev har uttrykt intensjoner om å bruke JEEP-II og støttet opprettelsen av NcNeutron. Vi understreker at respondentlisten surveyen ble sendt til ikke er uttømmende, og representerer ikke nødvendigvis mangfoldet av brukerne av JEEP II. Totalt besvarte 54 respondenter undersøkelsen, hvorav 51 var fullstendige besvarelser og svarprosenten var 69 %.

Tabell 1: Deltakelse i spørreundersøkelsen, etter gruppe

Aktørtype	Fullført	Noen svar	Ikke svart	Svarprosent
FOU-aktør	21	1	12	65 %
Næringslivsaktør	4	0	11	27 %
Offentlige aktører	3	0	0	100 %
Universitet	23	2	2	93 %
Totalt	51	3	25	68 %

Kilde: Oxford Research AS

Spørsmålene i spørreundersøkelsen er inspirert fra tidligere relevante undersøkelser, som undersøkelsen til brukerne av NGU⁵² samt til brukerne av forskningen fra Haldenreaktoren.⁵³ Begrepene brukt i undersøkelsen er også kvalitetssikret av en internasjonal ekspert på nøytronforskning. Også de eksplorative intervjuene ble brukt for å tilpasse spørreskjemaet til tematikken for denne evalueringen. Siden vi kun nådde litt over en fjerdedel næringslivsaktørene gjennom spørreundersøkelsen, gjennomførte vi en supplerende ringerunde. Også her fikk vi kun tak i 4 av 15 aktører, hvorav én hadde direkte kjennskap til JEEP-II. De andre hadde lite kunnskap om JEEP II aktiviteten.

Dokumentstudier

Utover de nevnte datakildene har også *dokumentstudier* vært viktig for å gi forskningsteamet oversikt over, og en grunnleggende forståelse av, forskningsaktivitetene ved JEEP II og IFE Kjeller, men også en grunnleggende oversikt over forskningssituasjonen innen nøytronspredning internasjonalt. Nyttige kilder her har vært dokumentasjon fra IFE – herunder årsrapporter, publikasjoner, konsesjonssøknader og foredrag – samt andre FoU-rapporter om nøytronspredning og forskningsreaktor drift generelt, inkludert problemstillinger knyttet til atomberedskap.

Bibliometri

Endelig har vi også benyttet *foreliggende statistikk* i form av NIFUs FOU-statistikk for publikasjonspeng og siteringsdata fra Scopus. Dette har først og fremst gitt oss et innblikk i hvor mye av forskningen ved IFE som ikke ville kunnet blitt gjennomført uten reaktordriften og forskningens videre betydning for norsk og internasjonal forskning.

Basert på listen over forskere, gjenfant vi 18 av disse i Scopus og dannet en forskningsgruppe i SciVal (Scopus sitt benchmarkingsverktøy). Vi undersøkte deres publikasjonsvolum sammenlignet med publikasjonsvolumet til IFE totalt. Her valgte vi å sammenligne fagfellevurderte artikler som var forfattet av én eller flere i denne gruppen og samtidig indeksert som affiliert med IFE. Dette gjorde vi fordi noen av forskerne har bistillinger ved andre institusjoner, og dermed publikasjoner som ikke hadde noe å gjøre med JEEP II.

Samlet vurdering av datamaterialet

Vi vurderer det foreliggende datagrunnlaget som robust og relevant for evaluering. Datainnsamlingsverktøyene er utprøvd i tidligere evalueringer, og er tilpasset konteksten basert på de eksplorative intervjuene. Videre ser vi at funnene fra ulike kilder i mange sammenhenger støtter opp under hverandre, og tegner sammenfallende bilder.

Vi vil imidlertid påpeke at mange av aktørene som er intervjuet og som har deltatt i spørreundersøkelsen, må regnes å være strategiske i svargivingen sin. Både informanter fra IFE og sentrale brukere kan i stor grad tenkes å ha egne interesser og kunnskapsbehov knyttet til spørsmålet om fortsatt drift

⁵² "Evaluering av Norges geologiske undersøkelse." Gjennomført av Oxford Research på oppdrag fra Nærings- og fiskeridepartementet, 2019.

⁵³ "Utredning av den nærings- og forskningsmessige betydningen av ifes nukleære virksomhet relatert til Haldenreaktoren". Gjennomført av Møreforskning og Høgskolen i Molde, på oppdrag fra Norges Forskningsråd, 2013.

av JEEP II versus nedleggelse. Empirien må ses i lys av det. Vi vil i denne sammenhengen også påpeke begrensningene for spørreundersøkelsen. Utvalget av aktører i denne undersøkelsen er basert på innspill fra IFE. Spørreundersøkelsen gjør ikke krav på å være en fullstendig eller uttømmende undersøkelse til alle potensielle og faktiske brukere, samarbeidspartnere og bidragsytere. Ringerunden tyder også på at det har vært viktig å få adressert spørreundersøkelsen til riktig person. Mange har ikke hatt kjennskap til reaktoren eller forutsetninger for å svare.

På tross av de nevnte forholdene mener evalueringsteamet at datamaterialet gir et robust og reliabelt grunnlag for vurderinger og anbefalinger.

Vedlegg – Oversikt over eksternt finansierte prosjekter ved avdeling NØYTRON siden 2002

Verdier oppgitt i 1000 NOK

Prosjektnavn	Finansiering	Prosjektleder (uthevet) og prosjektpartnere	Periode	Totalbudsjett	Midler til IFE
<u>EU-prosjekter</u>					
<i>HYSTORY - HYdrogen STORAge in bYdrides for safe energy systems</i>	EU - FP5	IFE (koordinator), CNRS (FR), Stockholm Univ (SE), NCSR (EL), Treibacher (AU), SCMM (FR), Statkraft (NO), ABB (SE), Kockums (SE)	2002-2005	18 966	4 688
<i>New complex hydrides for hydrogen storage</i>	EU - FP5-Marie Curie	IFE	2002-2004	1 142	1 142
<i>Advanced biomaterials for industrial applications</i>	EU - FP6-Marie Curie	IFE	2004-2006	790	790
<i>STORHY - Hydrogen Storage Systems for Automotive Application</i>	EU - FP6	Magna Steyr (AU, koordinator) Totalt 36 partnere, IFE leder sub-prosjekt solid storage, andre partnere: NCSR (EL), FZK/KIT (DE), GKSS/HZG (DE), Daimler (DE)	2004-2007	108 000	5 046

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

<i>HYTRAIN - Hydrogen Storage Research Training Network</i>	EU - FP6	Univ. Salford (UK) , IFE, Univ. de Franche-Comte (FR), CEA (FR), JRC (NL), CNRS (FR), Inst. Fisica Appl (IT), AGH (PL), LEI (LT), Univ. Strathclyde (UK), Queen Mary College (UK), Univ. Nottingham (UK), Univ. Geneve (CH), Univ. Alicante (ES), Stockholm Univ. (SE), MPI Metallforschung (DE)	2005-2008	21 224	2 016
<i>InsidePores - In-situ study and development of processes involving nano-porous solids</i>	EU - FP6	NCSR Demokritos (EL) , IFE, CNRS (FR), SINTEF (NO), Univ. Alicante (ES), Univ. Hannover (GE), Univ. Leipzig (DE), Univ. Stuttgart (DE), TU Delft (NL), First Elements Venture (CY), CNR (IT), Imperial College (UK), TNO (NL), Univ. Antwerp (BE), CERTH (EL)	2004-2008	54 400	1 542
<i>NESSHY - Novel Efficient Solid Storage for Hydrogen</i>	EU - FP6	NCSR Demokritos (EL) , IFE (WP-leader), Univ. Salford (UK), Air Liquide (FR), JRC (NL), Stockholm Univ. (SE), Univ. Fribourg (CH), Univ. Birmingham (UK), Vrije Univ. (NL), CNRS (FR), Daimler (DE), GKSS/HZG (DE), Univ. Iceland (IS), Johnson Matthey (UK), FZK/KIT (DE), MPG (DE), DTU (DK), METU	2006-2010	60 000	3 680

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

		(TR), INETI (PT), IFW (DE), Delft Univ. Techn. (NL),			
<i>HYCONES - Hydrogen storage in carbon cones</i>	EU - FP6	NCSR D Demokritos (EL) , IFE (WP-leader), Nottingham Univ. (UK), IFJ-PAN (PL), SCATEC (NO)	2007-2010	12 400	5 072
<i>HYSIC - Enhancing International Cooperation in running FP6 Hydrogen Solid Storage Activities</i>	EU - FP6	NCSR D Demokritos (EL) , IFE, Univ. Salford (UK), Stockholm Univ. (SE), Gen. Res. Non-ferrous metals (CN), Russian Acad. Sci. (RU), Nankai Univ. (CN), LEI (LT)	2007-2008	2 550	290
<i>NanoHy - Novel Nanocomposites for Hydrogen Storage Applications</i>	EU - FP7	FZK/KIT (DE) , IFE, CNR (IT), CNRS (FR), FutureCarbon (DE), MPI-KGF (DE), NCSR D (EL), UiO (NO)	2008-2011	19 192	2 981
<i>FLYHY - Fluorine substituted High Capacity Hydrides for Hydrogen Storage at low working temperatures</i>	EU - FP7	GKSS/HZG (DE) , IFE, Aarhus Univ. (DK), Univ. Torino (IT), CONICET (AR), Tropical (EL)	2009-2011	16 792	3 604
<i>MATERHY - Development and characterisation of novel materials for hydrogen storage</i>	EU - FP7- Marie Curie	IFE	2010-2012	1 421	1 421

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

<i>SSH2S - Fuel Cell Coupled Solid State Hydrogen Storage Tank</i>	EU - FP7	Univ. Torino (IT) , IFE, KIT (DE), DLR (DE), Tecnodelta (IT), Serenergy (DK), Fiat (IT), JRC (NL)	2011-2013	12 904	1 931
<i>H2FC - Integrating European Infrastructure to support science and development of Hydrogen- and Fuel Cell Technologies towards European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy</i>	EU - FP7	KIT (DE) , IFE, CEA (FR), Univ. Ulster (UK), PSI (CH), EMPA (CH), SINTEF (NO)	2012-2016	64 000	4 128
<i>BOR4STORE - Fast, reliable and cost effective boron hydride based high capacity solid state hydrogen storage materials</i>	EU - FP7	HZG (DE) , IFE, Hynergreen Techn. (ES), Zoz (DE), Katchem (CZ), Aarhus Univ. (DK), Univ. Torino (IT), Empa (CH), NCSR Demokritos (EL)	2012-2015	16 320	2 624
<i>NANOPYME - Nanocrystalline Permanent Magnets Based on Hybrid Metal-Ferites</i>	EU - FP7	IMDEA Nanociencia (ES), IFE, CNR (IT), CSIC (ES), Aarhus Univ. (DK), JSI (SL), IMA (ES), DTU (DK), Magneti (SL), GNRL (DE), Univ. Comp. Madrid (ES)	2013-2015	25 396	2 880
<i>ECOSTORE - Novel Complex Metal Hydrides for Efficient and Compact Storage of Renewable Energy as Hydrogen and Electricity</i>	EU - FP7	HZG (DE) , IFE, Aarhus Univ. (DK), Univ. Torino (IT), CNRS (FR), Univ. Birmingham (UK), Univ. Geneva (CH), Univ. Münster (DE), NCSR Demokritos (EL), Zoz (DE), SAFT (FR), Rockwood Lithium (DE)	2013-2017	32 000	2 348

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

<i>AMPHIBLAN - AnisoMetric Permanent Hybrid magnets Based on Inexpensive And Noncritical materials</i>	EU - H2020	CSIC (ES) , IFE, CNR (IT), Aarhus Univ. (DK), JSI (SL), DTU (DK), GNRL (DE), Univ. Comp. Madrid (ES), Max Baermann GmbH (DE), PETROCERAMICS (IT), ADP (ES), WATTSUP Power (DK)	2017-2020	44 538	4 863
<i>HYCARE - An innovative approach fo rrenewable energy storage by a combination of hydrogen carriers and heat storage</i>	EU - H2020	Univ. Torino (IT) , IFE, Engie (FR), GKN Sinter Metals (DE), Technodelta (IT), Stühff (DE), FBK (IT), HZG (DE), CNRS (FR)	2018-2021	18 993	1 470
<i>FRINGE - Fluorescence and Reactive oxygen Intermediates by Neutron Generated electronic Excitation as a foundation for radically new cancer therapies</i>	EU - H2020	Radiumhospitalet (NO) , IFE, NCSR Demokritos (EL), Univ. Girona (ES), Synthetica (NO), Vysoka Skola Chem - Tech. (CZ), Univ. Valencia (ES), Accelopment (CH)	2019-2023	37 805	7 075
<i>Nanostructured materials for solid-state hydrogen storage - MP1103</i>	EU - FP7 COST action	ENEA (IT) , IFE + fleste aktive europeiske institusjoner inne feltet lagring av hydrogen	2011-2015	reisestøtte	
<i>RADIOMAG - Multifunctional nanoparticles for magnetic hyperthermia and indirect raditaton therapy</i>	EU - COST action	Royal Meteorological Institute of Belgium (BE) , IFE + 19 other European institutions	2015-2018	reisestøtte	

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

<i>MULTICOMP - Multifunctional nano-carbon composite materials network</i>	EU - COST action	KIT (DE) , IFE + 61 other European institutions	2016-2019	reisestøtte	
<i>iTHEUS - Fundamental investigations on Improved Materials and Storage Concepts for a Hydrogen based Integrated Total Energy Utilisation System</i> CONCERT - Japan prosjekt	EU - CONCERT Japan ERA-NET	IFE (koordinator), AIST (JP), Tohoku Univ. (JP), HZG (DE), EMPA (CH)	2013-2015	3 720	1 510
<i>NEXMAG - New exchange - Coupled Manganese-Based Magnetic Materials</i>	EU - M-ERA.NET	IMDEA Nanociencia (ES) , IFE, IPSAS (SK)	2015+2018	4 314	4 314
<i>CellCOLOR - Fabricating cellulose nanocomposites for structural coloration</i>	EU - M-ERA.NET	NTNU , IFE, Giamag, Snøhetta, NOVA Univ. (PT), IST-ID (PT)	2017-2020	8 947	1 656
<i>GoPHyMiCO - Governing Principles in Hydration of Mixed Conducting Oxides</i>	EU - M-ERA.NET	UiO , IFE, Gdansk Univ. Techn. (PL), CSIC (ES)	2017-2020	10 429	2 718
SUM EU-prosjekter					69 789
<u>Norges forskningsråd (NFR)</u>					
<i>Hydrogenlagring i metallhydrid</i>	NFR-Energi for fremtiden	IFE , UiO, NTNU	2000-2003	3 520	900

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

<i>Hydrogen storage in metal hydrides based on light elements</i>	NFR - Energi for fremtiden	IFE	2002-2003	1 184	1 184
<i>PCT-utstyr</i>	NFR - utstyr (FUNMAT)	IFE	2002	800	800
<i>Carbon Cones</i>	NFR	IFE	2002-2003	1 324	1 324
<i>Forsknings samarbeid mellom IFE og Savannah River National Laboratory, USA</i>	NFR - BILAT	IFE	2006	100	100
<i>Nytt pulver-røntgendiffraktometr ved IFE</i>	NFR - utstyr (FUNMAT)	IFE	2007	1 700	1 700
<i>FUNMAT IKT - Oxides for Future Information and Communication Technology</i>	NFR - FUNMAT	NTNU, IFE, UiO, SINTEF	2005-2007	49 800	3 380
<i>Complex - Nanostructured soft and complex materials</i>	NFR - NANOMAT	NTNU, UiO, IFE	2004-2008	16 000	1 755
<i>Complex - Structure and Dynamics of Soft and Complex Nanomaterials</i>	NFR - NANOMAT	NTNU, UIO, IFE	2005-2007	7 881	600
<i>Development of novel Mg-based metal hydrides with large hydrogen storage capacity</i>	NFR - Energi for fremtiden	IFE, IFE, NTNU	2005-2007	3 729	1 715

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

<i>Hydrogen storage in metal hydrides based on magnesium</i>	NFR - RENERGI	IFE , UiO, SINTEF	2008-2013	6 777	2 412
<i>Nationally Coordinated Projects in Materials for Hydrogen Technology</i>	NFR - FUNMAT	IFE , UiO, NTNU, SINTEF	2005-2010	42 000	9 050
<i>High capacity hydrogen storage materials studied by X-ray synchrotron diffraction</i>	NFR - synkrotron	IFE , SNBL (FR)	2004-2007	2 403	2 403
<i>Operating Agent for the new hydrogen storage Task of IEA</i>	NFR-RENERGI	IFE	2006-2009	1 800	1 800
<i>ODIN - Nytt pulvernøytron diffraktometer</i>	NFR/UiO	IFE	2007-2012	8 000	8 000
<i>Nanocarbon for novel composites and functional materials</i>	n-Tec/NFR	IFE	2004-2006	1 139	1 139
<i>Nanosheets - Novel catalysts and oriented oxide thin films from exfoliated nanosheets of layered materials</i>	NFR - NANOMAT	UiO , SINTEF, IFE	2007-2009	9 721	300
<i>Novel materials for hydrogen storage studied by synchrotron X-ray diffraction</i>	NFR - Synkrotron	IFE	2008-2013	2 647	2 647
<i>Novel light-weight metal hydrides for hydrogen storage applications</i>	NFR - RENERGI	IFE , UiO, FZK (DE), SRNL (US)	2008-2011	8 253	5 784

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

<i>IEA 2009-2012 - Operating Agent Task 22 of IEA HIA</i>	NFR - RENERGI	IFE	2009-2012	1 650	1 650
<i>Complex Systems and Soft Materials</i>	NFR - FRINATEK	IFE , UiO, NTNU	2010 -2013	11 821	4 500
<i>Structure and Properties of carbon cones</i>	NFR - FRINATEK	IFE	2010-2012	5 584	5 584
<i>Conductive nano</i>	NFR - FORNY	Campus Kjeller, IFE	2010-2012	2 000	1 900
<i>Magnetic separation</i>	NFR - FORNY	Campus Kjeller, IFE	2010-2012	2 100	2 000
<i>Novel nanomaterials and nanostructured materials for hydrogen storage applications</i>	NFR - NANOMAT	IFE , UiO, NTNU, SINTEF	2008-2012	7 333	2 973
<i>RRC (forprosjekt) - Randers-Riste Center</i>	NFR - INFRA	IFE	2010	1 950	1 950
<i>Hydrogen storage in novel boron-based compounds</i>	NFR - FRINATEK	IFE , samarbeid UiO, Univ. Hawaii (US), FZK/KIT (DE), DTU (DK), CalTech (US)	2010-2013	7 600	7 600
<i>Sorption and Migration of CO2 in Porous Media</i>	NFR - CLIMIT	NTNU , UiO, IFE, IPGS (FR), Univ. of Rennes (FR)	2011-2013	18 336	4 201
<i>Nanomaterial NiMH-batteries - Novel Mg-based materials for advanced Ni-MH batteries</i>	NFR - NANOMAT	IFE , NTNU	2011-2013	5 500	1 512

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

<i>NanoHydrogen - Nanophase materials for hydrogen storage applications</i>	NFR - INDNOR	IFE, UiO	2010-2011	815	815
<i>Increased Energy Savings in Water / Oil Separation Through Advanced Fundamental Emulsion Paradigms</i>	NFR - KMB	NTNU, UiB, IFE, Univ. of Alberta (CA), Industry (Shell, Petrobras, Statoil, Akzo Nobel + more)	2011-2013	19 736	310
<i>TOTSCAT - Total scattering techniques for investigations of disorder in the solid state</i>	NFR - Synknøyt	IFE, UiS, SNBL (FR), ISIS (UK)	2012-2015	3 390	3 390
<i>Developing neutron reflectometry for materials research in Norway</i>	NFR - Synknøyt	IFE, UiO, Uppsala Univ. (SE)	2012-2015	3 575	3 575
<i>NMILB - Nano-Materials for Improved Lithium Batteries</i>	NFR - ENERGIX	UiO, IFE	2013-2015		500
<i>NOFCO - Novel Features of Complex Oxides</i>	NFR - FRINATEK	UiO, IFE	2013-2016	10 052	1 000
<i>THELMA - Thermoelectric materials: nanostructuring for improving the energy efficiency of thermoelectrical generators and heat pumps</i>	NFR - NANO2021	UiO, IFE, NTNU, UiS, UiA, SINTEF, FFI	2013-2016		3 273
<i>A successful continuation of the KIFEE platform</i>	NFR - NANO2021	NTNU, IFE, UiO, SINTEF, UiB	2013-2015	1 455	51

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

<i>TOSCA - Implementation of a commercial medical detector for synchrotron based total scattering experiments (nr.228564)</i>	NFR Synknøyt	-	SINTEF , IFE, SNBL	2013-2015	3 032	500
<i>NTNU samleprosjekter: Synknøyt, ERO m.fl.</i>	NFR		NTNU , IFE	2014-2016		324
<i>FCH 2 JU strategiarbeid og deltakelse i N.ERGHY</i>	NFR ENERGIX	-	IFE	2014-2015	400	200
<i>HOME - Holistic monitoring of indoor environment</i>	NFR Idelab	-	NTNU , IFE, Treteknisk Inst.	2014-2016	10 000	2 500
<i>Self-healing Hydrogels for nanomedicine: Understanding the Fundamentals through Neutron & X-ray Scattering combined with Model Systems</i>	NFR Synknøyt	-	UiO , ESRF (FR), JCNS (DE), IFE	2014-2016	3 555	240
<i>LiMBAT - Metal hydrides for Li-ion battery anodes</i>	NFR ENERGIX	-	IFE , UiO, SINTEF, Hiroshima Univ. (JP), CNRS (FR)	2015-2018	9 462	4 079
<i>NcNEUTRON - Norwegian Centre for Neutron Research</i>	NFR INFRA	-	IFE , UiO, UiS, SINTEF, (NTNU assosiert)	2016+10 år	31 100	31 100
<i>Siproco Fobeliba - Silisium Product Control for better Litium Batteries</i>	NFR ENERGIX	-	IFE	2016 -2019	10 871	10 871
<i>CLAYCAP- CO2 Capture and Retention by Smectite Clays (program FRINATEK)</i>	NFR FRINATEK	-	IFE , NTNU, Univ. of Copenhagen (DK), Univ. of South Florida (US)	2016-2019	8895	4 962

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

<i>Graphene-NanoClay Systems</i>	NFR - NANO2021	NTNU , UiO, IFE, Chalmers (SE). Univ of Manchester (UK)	2016-2019	6000	120
<i>New Strategy for Separation of Complex Water-in-Crude Oil Emulsions: From Bench to Large Scale Separation</i>	NFR - Petromaks 2	NTNU , ETHZ (CH), Univ. of Alberta (CA), IFE, Industry (Wartsila, Akzo Nobel, Nalco Champion)	2017-2019	12720	350
<i>KIFEE 2016-2018</i>	NFR - INTPART	NTNU , IFE, UiO, SINTEF	2016-2018	4049	243
<i>SELINAB - Solid Electrolytes for Li and Na-ion Batteries</i>	NFR - ENERGIX	UiO , IFE	2016-2018		400
<i>SET 10: IFE deltakelse i EERA JP Fuel Cells & Hydrogen</i>	NFR - ENERGIX	IFE	2017-2019	225	225
<i>NAMM - Novel approaches to Magnetostructural phase transitions in Metallic systems</i>	NFR - FRINATEK	UiO , IFE	2017-2020		900
<i>RIDSEM - Reflectivity and Interface Diffraction Studies of Emergent thin-film Magnetoelectrics</i>	NFR - Synknøyt	UiO , IFE	2018-2020	5 952	2 750
<i>Nanofluids for IOR and Tracer Technology</i>	NFR - Petromax 2	NTNU , IRIS, IFE, ESPCI-PARIS (FR), Univ. of Rennes (FR), Univ. of Rio de Janeiro (BR), Univ. of Sao Paulo (BR)	2018-2021	15 838	2 117
<i>HIEntropy - 3D-Printed High-Entropy Alloy Micro- and</i>	NFR - NANO2021	IFE , UiO	2019-2022	9 998	7 017

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

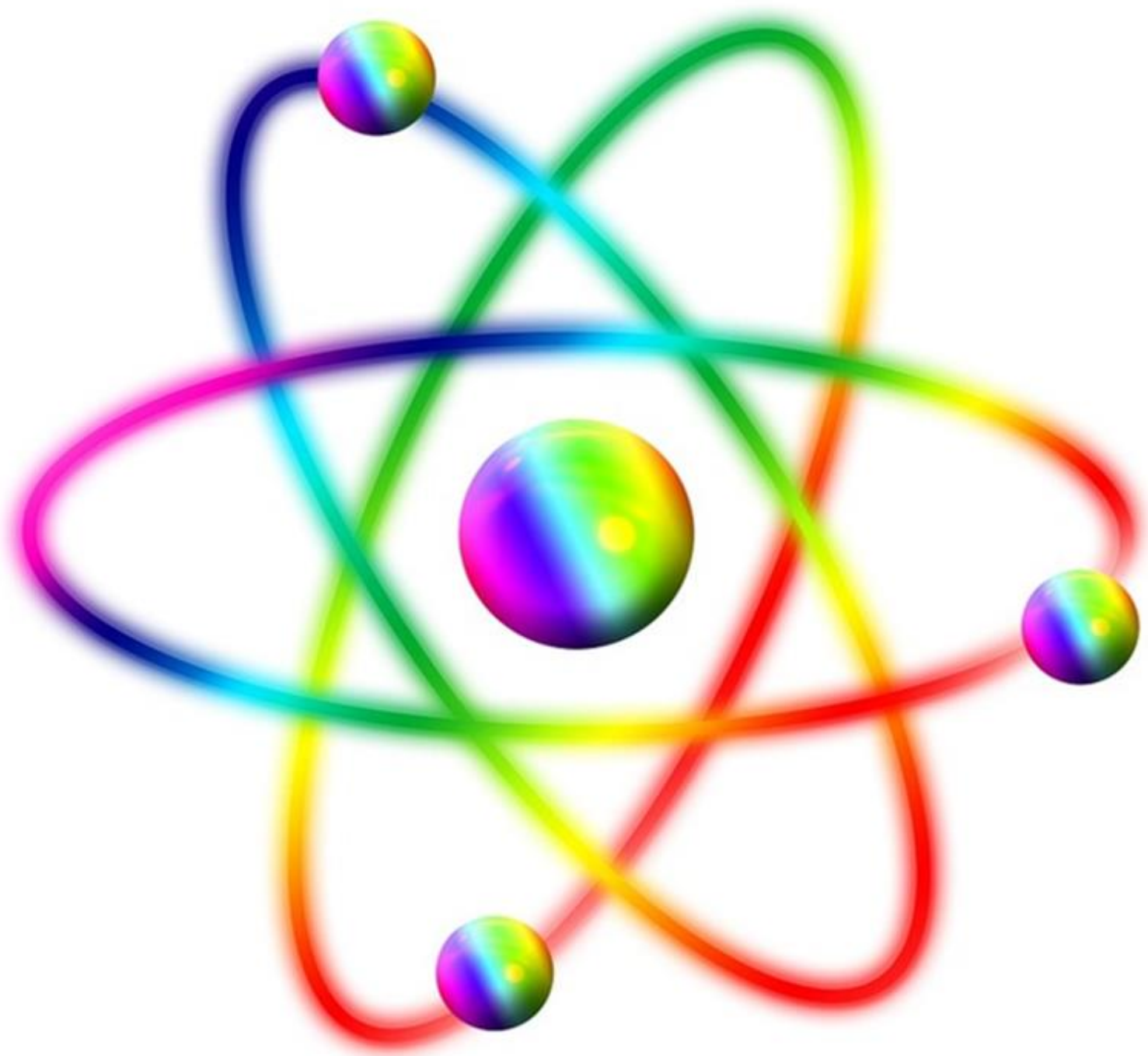
<i>Nanoparticles for Magnetocaloric Energy Conversion.</i>					
<i>INDet - Improved efficiency for solid-state Neutron DETectors</i>	NFR - NANO2021	SINTEF , IFE, UiB, UiO	2019-	9 311	400
<i>Nano-particles in adhesive conductive materials</i>	NFR	Norsk Solkraft , IFE	2007-2009	5 169	2 469
<i>Specific Agreement on Joint Research between IFE and ESS</i>	NFR - INFRA	IFE , ESS (SE)	2011-2016	19 200	19 200
<i>Role of the Capping Layer and Substrate in Stability of Thin Films of Mg₂NiH₄ For Hydrogen Storage and Semiconductor Device Application</i>	NFR-YGGDRAS IL	IFE (mobilitetsmidler)	2012-2013	324	mobilitet
SUM NFR-prosjekter					184 744
Andre					
<i>New Metal hydrides for hydrogen storage</i>	Nordic Energy	IFE , UiO, Uppsala Univ. (SE), Stockholm Univ. (SE), Univ. Iceland (IS), DTU (DK), Helsinki Univ. Tech. (FI)	2003-2006	4 300	1 000
<i>Nordic Center of Excellence of Hydrogen Storage Materials</i>	Nordic Energy	Univ. Iceland (IS) , IFE, UiO, Stockholm Univ. (SE), Uppsala Univ. (SE), DTU (DK), Risø National Lab (DK), Helsinki Univ.	2007-2010	8 000	863

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

		Techn. (FI), LEI (LT), St. Petersburg State Univ (RU)			
<i>International Joint research NEDO</i>	NEDO	Hiroshima Univ. (JP) , IFE	2006-2007	35	35
<i>International Joint research NEDO 2007</i>	NEDO	Hiroshima Univ. (JP) , IFE	2007-2008	40	40
<i>BIFROST - forprosjekt (norsk in-kind bidrag)</i>	ESS	DTU (DK) , IFE, PSI (CH), LLB (FR), København Univ. (DK)	2016-2017		594
<i>HEIMDAL - forprosjekt (norsk in-kind bidrag)</i>	ESS	Aarhus Univ. (DK) , IFE, PSI (CH)	2016-2017		439
<i>FunHy - Neutrons for multi-functional hydrides</i>	NNSP - NordForsk	Aarhus Univ. (DK) , IFE, Uppsala Univ. (SE), Chalmers (SE)	2017-2020	6 989	2 273
<i>NNSP School</i>	NNSP - NordForsk	Copenhagen Univ. (DK) , IFE, Uppsala Univ. (SE)	2017-2020	8 000	1 400
<i>NNSP Nettverk</i>	NNSP - NordForsk	Uppsala Univ. (SE) , IFE, UiO, Aarhus Univ. (DK), DTU (DK), ESS (SE)	2016-2019	2 000	226
<i>Neutrons for Heat Storage</i>	NNSP - NordForsk	DTU (DK) , IFE, KTH (SE)	2017-2020	6 089	2 300
<i>AntiMicrobial peptides seen by neutrons</i>	NNSP - NordForsk	UiO , Roskilde Univ (DK), Copenhagen Univ (DK), Malmö Univ (SE), IFE	2017-2019	5 435	150

JEEP II. Utredning og evaluering av reaktorens nytteverdi

<i>Magnetic Frustration under Pressure</i>	NNSP - NordForsk	KTH (SE) , ESS (SE), Copenhagen Univ. (DK), IFE, UiO, Lund Univ (SE)	2017-2020	7 000	in kind
<i>BIFROST (norsk in-kind bidrag)</i>	ESS	DTU (DK) , IFE, PSI (CH), LLB (FR), København Univ. (DK)	2017-2024	127 289	27 030
<i>HEIMDAL (norsk in-kind bidrag)</i>	ESS	Aarhus Univ. (DK) , IFE, PSI (CH)	2017-2025	128 290	45 569
<i>Test experiments with neutron instruments at the JEEP II reactor and contribution to ESS test beamline team</i>	ESS	IFE , ESS (SE)	2018-2019	2 200	2 200
SUM Andre					84 119
SUM TOTAL					338 652

**DANMARK**

Oxford Research A/S
Falkoner Allé 20
2000 Frederiksberg
Danmark
Tel: (+45) 3369 1369
office@oxfordresearch.dk

NORGE

Oxford Research AS
Østre Strandgate 1
4610 Kristiansand
Norge
Tel: (+47) 4000 5793
post@oxford.no

SVERIGE

Oxford Research AB
Norrländsgatan 11
103 93 Stockholm
Sverige
Tel: (+46) 08 240 700
office@oxfordresearch.se

FINLAND

Oxford Research Oy
Fredrikinkatu 61a
00100 Helsinki
Finland
www.oxfordresearch.fi
office@oxfordresearch.fi

BRUXELLES

Oxford Research
C/o ENSR
5. Rue Archimède
Box 4, 1000 Brussels
www.oxfordresearch.eu
office@oxfordresearch.eu

LATVIJA

Oxford Research SIA
Vīlandes iela 6-1
LV-1010, Rīga, Latvija
Tel.: (+371) 67142503
http://oxfordresearch.lv
info@oxfordresearch.lv