



Kunskapssammanställning om forskning och innovation på kärnkraftsområdet i Sverige

*Rapporten är framtagen
av Oxford Research AB
på uppdrag av
Energimyndigheten*

ER 2020:27



Rapporten har tagits fram av Oxford Research AB på uppdrag av Energimyndigheten.
Författare: Ylva Grauers

Energimyndighetens publikationer kan laddas ner eller
beställas via www.energimyndigheten.se

Statens energimyndighet, oktober 2020

ER 2020:27

ISSN 1403-1892

ISBN (pdf) 978-91-89184-77-0

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

Denna rapport ger en aktuell översiktlig beskrivning av finansieringen av svensk forskning och innovation samt aktuella forskningsfrågor inom kärnkraftsområdet. Syftet med rapporten är att ge en saklig och samlad bild över svenska satsningar på forskning och innovation om kärnkraft med en översiktlig sammanställning av status och behov för forskning och innovation kring olika kärnkraftsrelaterade frågor. Rapporten pekar på ett antal behov, utmaningar och möjligheter för svensk kärnkraftsforskning som de som är verksamma inom kärnkraftsforskning själva ser.

Denna rapport är framtagen på beställning av Energimyndigheten som en del av Energimyndighetens omvärldsbevakning. Rapporten har tagits fram av Oxford Research AB under ledning av Ylva Grauers som är huvudförfattare till rapporten. Oxford Research står själva för rapportens analyser och slutsatser.

Rémy Kolessar
Avdelningschef

Innehåll

Sammanfattning	3
Summary	6
1 Introduktion	9
1.1 Om uppdraget	9
1.2 Ansats och metod	10
1.3 Genomförande, källor och datainsamling	12
1.4 Analys och rapportering	13
2 Resurser och aktörer inom kärnkraftsforskningen idag	15
2.1 Forsknings- och utbildningsaktörer	15
2.2 Finansieringssystem	17
2.3 Infrastrukturer och laboratorier	22
2.4 Nätverk och samarbeten	22
3 Aktuella forsknings- och utvecklingsområden	25
3.1 Inriktning och fokusområden	25
3.2 Framtidens tekniker och forskningsområden	27
4 Behov för forskning och utveckling framåt	29
4.1 Institutionellt ramverk	30
4.2 Miljöer för test och utveckling	32
4.3 Samarbeten och internationellt deltagande	33
4.4 Finansieringskällor och -system	35
4.5 Kompetensförsörjning	37
Bilaga A. Studiens referensgrupp	39
Bilaga B. Respondentlista	40
Bilaga C. Intervjuguide	42
Bilaga D. Utbildningsdata	46
Bilaga E. Finansiering av energiforskning	48
Bilaga F. Vidare läsning om framtidens kärnkraft	50

Sammanfattning

Energimyndigheten har under våren 2020 låtit Oxford Research AB kartlägga svenska resurser, satsningar och gap inom forskning och innovation på kärnkraftsområdet. Studien är en främst kvalitativ kartläggning och analys av forsknings- och innovationssystemet kring kärnkraftsteknik i Sverige. Studien har särskilt inriktats mot vilka gap och behov som finns på systemnivå. Med detta menar vi de övergripande faktorer som påverkar många eller alla aktörer (företag, akademi och forskningsfinansiärer) som bidrar till forskning och utveckling inom kärnkraftsområdet i Sverige: Institutioner och regelverk, finansieringsstrukturer, infrastrukturer för forskning, kompetensförsörjning, etcetera. Studien bygger på en datainsamling som omfattar intervjustudier, dokumentstudier samt en workshopserie med en extern expertgrupp av forskare. Denna rapport redovisar resultaten av studien. Nedan följer inledningsvis en sammanfattning av resultaten.

Resurser och aktörer inom kärnkraftsforskningen idag

En stor del av den kärnkraftsrelaterade forskningen i Sverige bedrivs inom akademien, särskilt vid tre lärosäten: Chalmers tekniska högskola, Kungliga Tekniska högskolan (KTH) och Uppsala universitet. Även om vissa kärntekniska verksamheter, såsom Cyclife, Westinghouse, SKB och Studsvik, genomför egen forskning är en stor del av forskningen utlagd, antingen på internationella samarbetspartners eller svenska lärosäten. Antalet utbildningsaktörer är också begränsat, med tre program på grund- och avancerad nivå på KTH och Uppsala universitet.

Den samlade finansieringen av kärnkraftsrelaterad forskning och utveckling (FoU) i Sverige har minskat sedan 2008. I nuläget utgör Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) och Svenskt Kärntekniskt Centrum (SKC) de två aktörer vars finansiering är mest regelbunden och stabil. SSM utlyser årligen medel för att upprätthålla kompetens inom strålsäkerhet och utveckla myndighetens tillsynsverksamhet. SKC fungerar som en plattform varigenom medlemmarna, det vill säga de svenska kärnkraftverken, kanaliserar forskningsfinansiering till akademien. Både SSM och SKC finansierar främst projekt kopplat till upprätthållandet och driften av befintlig kärnkraft. Under de senaste åren har Vetenskapsrådet (VR) och Stiftelsen för Strategisk Forskning (SSF) utlyst medel för projekt och centrubildningar med ett mer framåtriktat perspektiv. Svensk kärnkraftsforskning finansieras även till viss del av internationella medel, främst genom EURATOM.

Bland forskningsaktörerna är tillgången till infrastrukturer och laboratorier god, med världsledande faciliteter. Både lärosäten och verksamheter samarbetar och tillgängliggör i viss mån sina faciliteter för varandra för att främja forskningen. Givet områdets begränsade storlek, finns det en väl etablerad samverkan mellan de olika aktörerna. Förutom informella samarbeten samverkar verksamheter och lärosäten genom plattformar såsom SKC och SAINT (Svenskt Akademiskt Initiativ för Strålningsvetenskaper). Även internationellt sker samverkan på flera nivåer. Dels har verksamheter såsom Oskarshamn (OKG) och Westinghouse flera internationella FoU-samarbeten via sina ägare och systerkontor. Dels finns forskningssamarbeten med en lång rad länder inom och utanför EU. Dels har forskningsfinansiärer såsom SSM ett internationellt engagemang och representerar Sverige i plattformar såsom OECD-NEA.

Aktuella forsknings- och utvecklingsområden

Övergripande ligger tonvikten inom svensk forskning på frågor som behöver hanteras inom ramen för existerande kärnkraft, inte minst åldringshantering och livstidsförlängning. Bland såväl finansiärer som genomförare av forskningen finns ofta ett tydligt fokus mot tillämpad forskning – den utgår från befintliga tekniker och ska ha tydliga och konkreta användningsområden. Den forskning som bedrivs i nuläget kan delas in i sex övergripande områden:

- Materialforskning
- Bränslefrågor
- Avfall och förvar
- Riskanalys, haverier, MTO (människa, teknik, organisation)
- Reaktorteknik
- Digitalisering

Forskning inom dessa områden äger rum på alla tre lärosäten som bedriver kärnteknisk forskning. Bland övriga aktörer forskar även Studsvik och Westinghouse på bränslefrågor, SKB bedriver materialforskning och SKB, Studsvik och Cyclife bedriver forskning inom avfall och förvar.

Vad gäller framtidens tekniker och forskningsområden, som i dagsläget utgör en begränsad del av den totala forskningen, kan den delas in i fyra breda, delvis överlappande utvecklingsområden:

- Säker fortsatt drift av existerande reaktorer
- Framtidens kärnkraft (däribland fjärde generationens kärnkraft och små modulära reaktorer)
- Kärnkraftens livscykel
- Energisystemet och kärnkraften

Behov för forskning och utveckling framåt

Utifrån respondenterna och Oxford Researchs bedömning utgör ett institutionellt ramverk det viktigaste enskilda behovet för den svenska kärnkraftsforskningen, då detta har bäring på omfattningen och inriktningen av den framtida forskningen. Ett institutionellt ramverk kan här specificeras som en tydlig nationell strategisk inriktning som tar hänsyn till kärnkraftens långa utvecklingsperspektiv. Behovet av ett institutionellt ramverk baserar sig på att det finns en grundläggande osäkerhet avseende incitament och möjligheter för såväl forskningens prioritet som nya kärntekniska applikationer. Akademi och industri följer de signaler som ges från nationellt håll. Utan tydliga utvecklingsmöjligheter nedprioriteras innovativ forskning.

Som en del av det institutionella ramverket har vi identifierat flera behovsområden relaterade till nuvarande och framtida kärnkraftsforskning; miljöer för test och utveckling, samarbeten och internationellt deltagande, finansieringskällor- och system samt kompetensförsörjning. Mot bakgrund av studien har Oxford Research gjort samlade bedömningar av varje behovsområde:

- **Miljöer för test och utveckling:** För att innovationssystemet inom kärnkraft ska vara livskraftigt måste befintliga miljöer för test och utveckling upprätthålls. Sverige har internationellt framstående infrastrukturer inom flera områden, såsom analys av aktiva komponenter och termohydraulik. Men faciliteterna är dyra att upprätthålla och flera lever en osäker tillvaro utan långsiktigt säkrad finansiering.
- **Samarbeten och internationellt deltagande:** Sveriges deltagande internationellt är beroende av den nationella forskningskapaciteten och förmågan att bidra. Utan nationell forskning är inte internationellt deltagande möjligt. Ett ökat internationellt engagemang sett från ett statligt perspektiv skulle kunna ge goda förutsättningar att stärka den nationella forskningen.
- **Finansieringskällor och -system:** Inom nuvarande finansieringsstruktur finns tre huvudsakliga delar som är underfinansierade och där det saknas aktörer som tar ett helhetsgrepp: Finansiering för framtida kärntekniker; finansiering för spannet mellan grundforskning och industriell innovation (oavsett teknikområde); samt basfinansiering för att upprätthålla forskningskompetens och säkra återväxten av forskare vid lärosäten. Finansiering för ny kärnteknik har visserligen börjat tillgängliggöras, exempelvis genom utlysningar från VR och SSF, men systemets struktur kan påverka hur väl dessa medel fördelas sett till nytta för innovativ kärnkraft.
- **Kompetensförsörjning:** Den framtida kompetensförsörjningen inom kärnkraft är viktig för att kunna upprätthålla livskraftiga forskningsmiljöer. Medan den svenska kärnkraftsforskningen i sig krävs för att upprätthålla utbildningarna och därmed kompetensförsörjningen, visar kartläggningen att bristande kompetens och human-kapital är ett av de största behoven även för att stärka forskningen.

Summary

In the spring of 2020, the Swedish Energy Agency commissioned Oxford Research to map Swedish resources, investments and gaps in research and innovation related to nuclear power research. The study is primarily based on qualitative methods and analysis of the research and innovation system related to nuclear power in Sweden. The study's primary focus has been on gaps and needs at a system level. These include the overall factors that affect many or all actors (businesses, academia and research funders) that contribute to research and development related to nuclear power in Sweden: Institutions and regulations, funding structures, research infrastructures, skills supply etc. The study is based on data including interview studies, desk research and a series of workshops with an external expert group of scientists in the field. This report presents the results of the study.

Actors and resources in nuclear power research today

A large part of the nuclear power-related research in Sweden is conducted within by universities, specifically: Chalmers University of Technology, KTH Royal Institute of Technology and Uppsala University. Albeit some actors, such as Cyclife, Westinghouse and Studsvik, conduct their own research internally, a large part of the research conducted by businesses is outsourced, either to international partners or Swedish universities. Institutions offering academic education within nuclear power are limited, with three programs at the under- and postgraduate levels currently available at KTH and Uppsala University.

The total funding of nuclear-related R&D in Sweden has decreased since 2008. Currently the most stable research funding is supplied by the Swedish Radiation Safety Authority (SSM) and the Swedish Nuclear Technology Center (SKC). SSM annually distributes funding to ensure that skills and competencies in radiation safety are maintained, as well as funding to develop their supervisory activities. SKC is a platform wherethrough the members, i.e. the Swedish nuclear power plants, channel their research funding to Chalmers, KTH and Uppsala University through grants. Both SSM and SKC mainly fund projects related to the maintenance and operation of existing nuclear power. In recent years, the Swedish Research Council and the Foundation for Strategic Research have announced grants for projects and centres with a more forward-looking and innovative perspective. Swedish nuclear research is also funded to some extent by international actors, primarily through EURATOM.

Researchers have access to infrastructures and laboratories, with some universities operating world-leading facilities. Both universities and businesses collaborate, to a certain extent making their facilities available to each other to promote research. Given the limited size of the research field in Sweden, collaboration between the actors is common and well-established. In addition to informal cooperation, businesses and universities collaborate through platforms such as SKC and SAINT (Swedish Academic Initiative for Radiation Sciences). International collaboration at several levels is also prevalent. Businesses e.g. have several international R&D collaborations through their owners and sister offices. Universities and research groups have research collaborations with many countries both within and outside the EU. And research funders such as SSM are internationally involved through representing Sweden in, among others, platforms such as OECD-NEA.

Current areas of research and development

The main emphasis of Swedish nuclear power research concerns issues that need to be addressed within the framework of existing nuclear power plants, not least ageing management, and life extension. Among both funders and implementers of research, applied research is the main focus, based on existing technologies with clear and concrete areas of use. The research currently conducted can be divided into six overarching areas:

- Materials research
- Fuels research
- Nuclear waste and storage
- Risk analysis, nuclear power plant accidents, HTO
- Reactor technology
- Digitisation

Research within these areas takes place at all three universities that conduct nuclear research. As to other actors, Studsvik and Westinghouse conduct nuclear fuel research, SKB conducts materials research and SKB, Studsvik and Cyclife all conduct research related to nuclear waste and storage.

Technologies and research on future nuclear power, which currently constitute a limited part of the total research conducted in Sweden, can be divided into for broad and partly overlapping areas of development:

- Safe continued operations of existing reactors
- Nuclear power of the future (including fourth generation nuclear power and small modular reactors)
- The life cycle of nuclear power
- The energy system and nuclear power

Future needs for research and development

Based on the interviewees' and Oxford Research's assessment, the most important need for Swedish nuclear power research is an institutional framework since this shapes the possibilities and directions for future research. More specifically, the institutional framework can be defined as a clear national strategic direction, that encompasses a long-term development perspective of nuclear power and related research. The need for an institutional framework springs from a current uncertainty of incentives and opportunities for both research priorities and new nuclear applications. Both academic and industry actors follow the national signals. Without clear development opportunities, they are less likely to pursue and prioritise innovative research.

We have identified several areas of needs related to current and future nuclear research: environments for testing and development, collaborations and international participation, funding sources and systems as well as competence supply, as part of the institutional framework. Based on the study, Oxford Research has made an overall assessment of each area:

- **Test and development environments:** For the nuclear power innovation system to be viable, existing test and development environments must be maintained. Sweden has internationally prominent infrastructures in several areas, such as analysis of active components and thermohydraulics. But the facilities are expensive to maintain and many face an uncertain future if long-term funding cannot be secured.
- **Collaboration and international participation:** Sweden's international participation depends on its national research capacity and its potential to contribute. Without national research, international participation is not possible. Increased international involvement from a government perspective could provide favourable conditions for strengthening national research.
- **Funding:** Within the current funding structure there are three main areas that lack funding and where no actors have taken a holistic approach: funding for future nuclear technologies; funding for projects that span between basic research and industrial innovation (regardless of technology); and basic funding to maintain levels of research competence and ensure the regrowth of researchers at universities and research institutes. While funding for new nuclear technology has recently been made available, e.g. through calls from the Swedish Research Council and the Swedish Foundation for Strategic Research, unclear structures can affect how well these funds are distributed in terms of their benefits for innovative nuclear power.
- **Skills provision:** The future supply of skills in nuclear power is pivotal to maintaining viable research environments in the long term. Swedish nuclear research is, in itself, necessary to sustaining teaching at universities, and thus the long-term supply of skills. However, the study demonstrates that lack of skills and human capital is one of the greatest necessities to strengthening research.

1 Introduktion

Energimyndigheten har under våren 2020 låtit Oxford Research AB kartlägga svenska resurser, satsningar och gap inom forskning och innovation på kärnkraftsområdet. Studien är en främst kvalitativ kartläggning och analys av forsknings- och innovationssystemet kring kärnkraftsteknik i Sverige, inklusive ett internationellt perspektiv för kontext och jämförelse. Studien har särskilt inriktats mot vilka gap och behov som finns på systemnivå. Med detta menar Oxford Research de övergripande faktorer som påverkar många eller alla aktörer (företag, akademi och forskningsfinansiärer) som bidrar till forskning och utveckling inom kärnkraftsområdet i Sverige: Institutioner och regelverk, finansieringsstrukturer, infrastrukturer för forskning, kompetensförsörjning och liknande. Denna rapport redovisar resultaten av studien. Rapporten är uppdelad i fyra kapitel:

- **Kapitel 1** utgör en inledning och redovisar uppdragets syfte, bakgrund och hur studien genomförts.
- **Kapitel 2** sammanfattar den kartläggande delen av studien sett till de resurser och aktörer som finns inom kärnkraftsforskningen idag.
- **Kapitel 3** presenterar forskningens huvudsakliga inriktning och vilka forskningsområden som är av intresse framåt.
- **Kapitel 4** presenterar och analyserar de behov som identifierats på systemnivå, vilka ger förutsättningar för framtida forskning och utveckling på området.

1.1 Om uppdraget

Uppdraget syftar till att:¹

”...kartlägga svenska satsningar på forskning och innovation om kärnkraft.”

”...analysera förutsättningar och möjligheter för svensk forskning och innovation om kärnkraft.”

”...bedöma behovet av kompletterande satsningar på svensk forskning och innovation om kärnkraft”

Kartläggningen och analysen ska vara ett underlag till Energimyndigheten för att identifiera de satsningar inom forskning, utveckling och innovation som kan anses av särskild vikt eller av särskilt intresse i Sverige. Den täcker in svenska förutsättningar och resurser för nya forskningsrön och innovationer inom kärnkraftsområdet. Dessa förutsättningar och resurser kan ta formen av forsknings- och innovationsmiljöer, tekniker, projekt, finansieringsströmmar, etcetera.

Utöver detta har även behov inom forsknings- och innovationssystemet analyserats utifrån olika forsknings- och innovationsområden, institutionella förutsättningar, konkreta behov av satsningar samt möjlig teknikutveckling.

¹ Hämtat ur förfrågningsunderlaget, se Energimyndigheten, 2020, *Upphandling: Kunskapssammanställning kärnkraft*, dnr 2020–2274.

Studien har avgränsats till forsknings- och innovationssystemet inom kärnkraft. Den fokuserar inte på att syntetisera de faktiska forskningsrönen på området, även om forskningsrön och forskningens nuläge beaktats som en aspekt av framtida behov. Avgränsningen innebär också att studien inte går igenom forskning och innovation inom kärnkraft i relation till andra energislag eller forskning på andra områden.

1.2 Ansats och metod

Studien har genomförts som en kvalitativ analys med ett kartläggande och ett framåt-syftande spår, med stöd utifrån ett flertal kompletterande datakällor. Denna ansats och metod beskrivs närmare nedan.

1.2.1 Övergripande ansats

Genomförandet av studien tar utgångspunkt i litteraturen om forsknings- och innovationssystem, och särskilt hur tekniska innovationssystem kan beskrivas och analyseras. Det teoretiska ramverket har varit vägledande för studiens inriktning och utformning. Genom ramverket har underfrågor inom studien formulerats och datainsamlingen strukturerats.

På övergripande nivå har studien konceptuellt delats i två delar:

- en kartläggande del, med fokus på existerande resurser och verksamhet,
- en del som varit mer framåtblickande, med fokus på systembehov.

Rent praktiskt har genomförandet innehållit flera kompletterande datainsamlingsinstrument och delanalyser. Främst kvalitativa metoder har använts för datainsamling. De huvudsakliga källorna har varit en intervjustudie med aktörer inom forsknings- och innovationssystemet, en workshop-serie med en referenspanel bestående av experter inom akademien, samt dokumentstudier. I mycket av datainsamlingen har studiens båda övergripande frågor behandlats tillsammans, då information för studiens båda huvudfrågor ofta kommit från samma källor (respondenter, dokument m.m.).

1.2.2 Teoretisk ansats: Analys av tekniska innovationssystem

Vår förståelse för forsknings- och innovationssystem tar sin utgångspunkt i den litteratur som finns inom innovationsområdet, och särskilt studiet av så kallade ”tekniska innovationssystem”.

Självva begreppet innovationssystem har flera användningar och definitioner. En utförlig historik av begreppet på svenska har bland annat getts av Bengt-Åke Lundvall i en rapport för Institutet för tillväxtpolitiska studier 2007, med fokus på nationella innovationssystem.² Framställningen visar att begreppet haft en mängd olika användningar beroende på sammanhang. En återkommande slutsats när ”innovationssystem” ska definieras för ett särskilt syfte, till exempel en kartläggning av ett visst innovationssystem och dess aktörer, är att definitionen blir beroende på sammanhanget och måste operationaliseras för det enskilda fallet.

² Lundvall (2007), *Teorier om nationella innovationssystem: Hur kan dessa studeras?*, ITPS arbetsrapport R2007:004

I relation till ett visst teknikområde eller kunskapsområde kan vi tala om tekniska innovationssystem, eller "*Technological Innovation System*". Hekkert et al (2011)³ har beskrivit sådana innovationssystem utifrån ett antal pusselbitar som ingår:

- a) aktörer (såsom kunskapsaktörer, nätverksaktörer, producenter och konsumenter),
- b) nätverk (kopplingar mellan aktörerna),
- c) teknik (som möjliggör innovation), och
- d) institutioner (regelverk och standarder).

Studiens första del, kartläggning av resurser, har fokuserats mot aktörerna, deras nätverk, och aktörernas konkreta insatser på området i form av forskning och utveckling.

Studiens andra, mer framåtsyftande, del har fokuserat på teknikutvecklingen och de institutioner som för tillfället sätter ramarna för forskning, utveckling och innovation. Det bör tilläggas att de enskilda aktörerna, nätverk och tillgängliga resurser utgjort viktiga komponenter även i studiens andra del.

Detta gör att de olika delarna i ett tekniskt innovationssystem täcks in av studiens två kompletterande delar.

1.2.3 Relaterade forskningsområden

För att kunna avgränsa studien behövs även en förståelse för vilka forsknings- och utvecklingsområden som kan anses ha bäring på kärnkraft. Vi har utgått från en schematisk förståelse där den relevanta forsknings- och innovationsverksamheten kan delas in i tre huvudsakliga områden. Indelningen illustreras i Figur 1.

Den innersta ringen i figuren består av kärnteknisk forskning och utveckling. Runt denna finns en ring av relaterade forskningsområden, såsom strålsäkerhetsforskning, kärnfysik, etcetera. De relaterade forskningsområdena har i sin helhet bäring på den kärntekniska utvecklingen. Runt denna finns till slut en yttre ring av möjliggörande forskningsområden, som har bäring på den kärntekniska utvecklingen sett till vissa delar eller inom vissa specialiseringar. Här finns exempelvis materialteknik och hållfasthetslära samt forskning om energisystem. Den schematiska förståelsen har varit vägledande för att utforma intervjuguider och inringande av det system av aktörer och utvecklingslinjer som har bäring på innovation inom kärnkraft.

³ Hekkert, Negro, Heimeriks & Harmsen (2011), *Technological Innovation System Analysis: A manual for analysts*

Figur 1. Relevanta forskningsområden för studien.



1.3 Genomförande, källor och datainsamling

Som beskrivits ovan genomfördes studien med ett aktörscentrerat perspektiv. Inledningsvis identifierade vi de viktigaste aktörerna och miljöerna för forskning och utveckling inom kärnkraft i Sverige. Detta följdes av semi-kvalitativ datainsamling i form av strukturerade intervjustudier, workshops och dokumentstudier.

En referensgrupp med sakområdesexperter har deltagit i genomförandet. Referensgruppen har bestått av fem seniora forskare från olika forskningsfält med bäring på kärnkraftens utveckling (se Bilaga A: Studiens referensgrupp). Referensgruppens roll har dels varit att löpande bidra med information och vägledning i olika sakfrågor, dels att delta i de workshops som hållits (se avsnitt 1.3.3).

1.3.1 Identifierande av aktörer och informanter

I studiens första steg identifierades och fastställdes vilka aktörer som är aktiva inom forskning och utveckling inom kärnkraft i Sverige idag. En första aktörslista upprättades utifrån redan gjorda studier på närliggande områden, såsom översikter över kompetensförsörjning.

Listan med aktörer stämades av med Energimyndigheten och referensgruppen av sakområdesexperter. Målet var att nå fram till en lista om cirka 20–40 nyckelrespondenter som så gott som möjligt täckte in de viktigaste aktörerna. Aktörerna delades in utifrån deras roll i systemet för forskning och utveckling. De tre huvudsakliga rollerna var (a) forskningsfinansiärer, (b) verksamheter med kärnteknik och tillämpad utveckling och (c) akademi.

Därefter kontaktades aktörerna av Oxford Research för att identifiera möjliga informanter. Kontakterna innebar i vissa fall att ytterligare aktörer och respondenter tillkom.

1.3.2 Semi-strukturerade intervjuer

Identifierandet av relevanta aktörer och informanter resulterade i en lista på totalt 32 respondenter som intervjuats inom ramen för studien, se Bilaga B: Respondentlista.

Intervjuerna genomfördes i ett semistrukturerat format utifrån en intervjuguide som tog hänsyn till informanternas olika roller och perspektiv (se Bilaga C: Intervjuguide). Intervjuerna anpassades efter respektive respondents kunskap och perspektiv. Vissa intervjuer fokuserade på kartläggning av resurser och nätverk, medan andra fokuserade på bredare tematiska frågor om nuläge, behov och framtidsutmaningar inom kärnkraft.

1.3.3 Workshopserie med expertgrupp

För att fördjupa datainsamlingen kring studiens huvudfrågor initierades en workshopserie med studiens referensgrupp. Två workshops genomfördes under våren 2020 med separata fokus: Den första workshopen utforskade aktuella teknologier och innovationsområden, medan den andra utforskade eventuella behov av vidare satsningar. En tredje workshop genomfördes för att samla upp reflektioner kring slutrapporten i oktober 2020.

1.3.4 Dokumentstudier

Dokumentation samlades in från intervjustudiens informanter och från studiens referensgrupp. Generellt samlades dokumentationen in löpande inom ramen för samtliga kontakter med studiens informanter. Därmed var det i grunden ett slags ”snöbolls-insamling”, där varje informant bidrog med dokumentation som kunde fördjupa eller komplettera dennes bild.

Dokumentstudierna användes främst som ett komplement till intervjustudien. Utöver detta samlades registerdata och kompletterande dokumentation in avseende bland annat finansieringsströmmar och institutionell kontext. Analysen av dokumentationen utgick från samma övergripande frågeställningar som intervjuerna. På det sättet kunde dokumentationen fördjupa, validera och konkretisera vad som framkommit i intervjuer.

1.4 Analys och rapportering

Analysen av materialet genomfördes som en strukturerad kvalitativ genomgång, där svar kategoriserades och analyserades utifrån innehåll och vilka områden dessa berörde. Analysramen utvecklades dels utifrån den övergripande teoretiska förståelsen och studiens design och huvudfrågor (se 1.2), dels utifrån vilka svars kategorier som kunde utläsas ur de faktiska svaren.

De huvudsakliga analysfrågorna redovisas i Tabell 1. Analysen validerades också med referensgruppen inom ramen för workshop-serien.

Tabell 1. Analysdimensioner och -frågor för studien.

Huvudspår	Analysdimensioner	Undersökningsfrågor
Kartläggning av FoU	Inriktning på egen FoU	Prioriterade frågor eller applikationer
		Tillämpningsgrad
	Mest aktuella områden att följa	Omkringliggande forskningsområden
		Områden av särskilt intresse
	Faktiska resurser	Sveriges position inom områden
		Finansiering
	Nätverk	Personal och verksamhet
		Infrastruktur och andra resurser
Framåtsyftande behov	Förändring över tid	Samarbeten nationellt
		Samarbeten internationellt
	Behov kopplade till resurser	Specificering av respektive behov
		... teknikutveckling
	... institutionella faktorer	
	Annat	

Uppdraget rapporteras genom löpande avstämning med uppdragsgivaren, och genom tre skriftliga rapporteringstillfällen:

1. En fördjupad genomförandeplan för uppdraget
2. Utkastrapport i juni 2020
3. Slutlig rapport i oktober 2020

2 Resurser och aktörer inom kärnkraftsforskningen idag

Detta kapitel redovisar resultaten av den kartläggande delen av studien som fokuserat på vilka aktörer som finns inom forskningssystemet, hur finansieringssystemet ser ut, tillgången till infrastrukturer och laboratorier samt vilka nationella och internationella nätverk och samarbeten som är särskilt framträdande.

2.1 Forsknings- och utbildningsaktörer

I Sverige finns två typer av forskningsaktörer som bedriver forskning inom kärnkraft: akademien och verksamheterna. Det finns i nuläget inga nationella forskningsinstitut som i Frankrike och Tyskland, eller så kallade *technical support organisations* (TSO) som i Finland. Givet att majoriteten av forskningen äger rum på lärosäten är forskningen och utbildningen i hög grad ömsesidigt beroende. Utbildning är en förutsättning för forskningens återväxt, och forskningen är nödvändig för utbildningen – dels för att undervisningen ska vara aktuell och relevant, dels för att det ska finnas forskare som kan undervisa. För att forskningen ska vara livskraftig även långsiktigt krävs både högkvalitativa utbildningar och att tillräckligt många studenter söker till utbildningarna. Återväxten av forskare kräver även att doktorander kan finansieras och attraheras.⁴

2.1.1 Forskning bedrivs främst inom akademien

Majoriteten av den svenska forskningen inom kärnkraft sker på Kungliga Tekniska högskolan (KTH), Chalmers Tekniska Högskola (Chalmers) samt Uppsala universitet. Lärosätena har forskargrupper inom kärnkemi, tillämpad kärnfysik, reaktorfysik inklusive termohydraulik, materialforskning och strukturell integritet.

2.1.2 Viss forskning bedrivs hos kärntekniska verksamheter

Forskning och utveckling bedrivs även inom vissa företag – särskilt Studsvik, Svensk Kärnbränslehantering (SKB), Westinghouse och Cyclife.

- **Studsvik** har ett tydligt fokus på FoU samt produktutveckling och har avancerade testanläggningar och 120 anställda. De medverkar i och leder internationella projekt fokuserade på bränslehantering och livstidsfrågor.
- **SKB** genomför forskning kopplat till slutförvaret av använt kärnbränsle. Inom deras femton områden arbetar en–tre personer med antingen egen forskning eller inköp av den forskning som behövs för verksamheten. SKB samarbetar mycket med akademien och köper in ungefär hälften av sin forskning.

⁴ Strålsäkerhetsmyndigheten (2018) *Grunden för en långsiktig kompetensförsörjning inom strålsäkerhetsområdet*. Utredningsrapport. SSM2017-134

- **Westinghouse** arbetar med frågor rörande utvecklingen av kärnbränsle, ofta i samarbete med akademien. En stor del av verksamhetens FoU äger rum i USA och Storbritannien. I Sverige är tio–femton personer involverade i materialforskning i nuläget, varav tre personer arbetar med FoU på heltid.
- **Cyclife** fokuserar på avfallshantering och avveckling. Forskningen utgör ungefär fem procent av den totala verksamheten. Det är även vanligt att forskning köps in från akademien eller konsulter. De flesta verksamheter finansierar, eller har finansierat, industridoktorander.

Kärnkraftverkens egen forskning är mycket begränsad och består främst av att de finansierar industridoktorander och, i Ringhals fall, en adjungerad professor på KTH. Verkens forsknings- och utvecklingsbehov fylls istället i huvudsak genom att finansiera projekt som genomförs av akademien, främst genom samarbetsplattformen Svenskt Kärntekniskt Centrum (SKC).

2.1.3 Få akademiska utbildningsaktörer i Sverige

I nuläget bedrivs tre kärntekniska program på två svenska lärosäten på grundnivå och avancerad nivå:⁵

- **Högskoleingenjör med inriktning på kärnkraft** (Uppsala universitet).
Programmet återupptogs i 2019 efter att ha varit vilande sedan 2016.
- **Masterprogram i kärn- och partikelfysik** (Uppsala universitet).
- **Masterprogram i kärnenergiteknik** (KTH).

Chalmers erbjöd tidigare ett masterprogram i kärnteknik med bidrag från E.ON. Programmet lades dock ned i 2016 på grund av sviktande studentunderlag.

Masterprogrammen på KTH och Uppsala universitet har många sökande till sina platser och bägge har upplevt ett ökat söktryck inför höstterminen 2020 jämfört med föregående år, vilket delvis tordes spegla den allmänna situationen med fler ansökningar till högre utbildning.⁶ Bägge masterprogrammen har en mycket stor andel internationella sökande och antagna, vilket respondenterna påpekar speglar områdets brist på attraktivitet bland svenska studenter. De framhäver denna indikation för bristande intresse som en risk för återväxten av svensk forskning och den långsiktiga kompetensförsörjningen inom kärnkraft, då enbart en begränsad andel av de internationella studenterna stannar kvar i Sverige efter avslutad utbildning.

Förutom programmen erbjuds kurser inom kärnteknik och -fysik på flera lärosäten i Sverige: Linnéuniversitetet, Luleå Tekniska Universitet, Lunds universitet, Stockholms universitet samt Umeå universitet. Kurserna erbjuds antingen som fristående kurser eller som en del av ett bredare program. På Uppsala universitet finns även NANSS (Nordic Academy for Nuclear Safety and Security) som bedriver uppdragsutbildning inom kärnsäkerhet.

⁵ Se Bilaga D: Utbildningsdata

⁶ UHR (2020) *Universitets- och högskolerådets antagningsstatistik* <statistik.uhr.se>

Chalmers, KTH och Uppsala universitet bedriver även forskarutbildning för doktorander. I nuläget finns cirka 40 doktorander som forskar inom kärnkemi, kärnfysik, kärnsäkerhet och kärnenergiteknik. Enligt respondenterna har en utlyst tjänst ofta upp till 20 sökande, varav drygt hälften är kvalificerade. En hög andel av de sökande, samt de doktorander som får tjänsten, är internationella, från många olika länder, även om det är en större andel svenska sökande till doktorandtjänster än till mastersprogrammen. Samtliga doktorander är finansierade genom externa anslag.

2.2 Finansieringssystem

Forskningsfinansieringssystemet för kärnkraftsrelaterad forskning är relativt centraliserat, med ett fåtal centrala aktörer. Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) utlyser årligen forskningsmedel med syfte att dels upprätthålla forskningskompetensen, dels få svar på frågor som rör den egna tillsynsverksamheten. Inom industrin finansierar verksamheterna genomgående sin egen, ofta begränsade, forskning men deltar även i större internationella projekt och bidrar till finansieringen av forskningen inom akademien genom att finansiera industridoktorander och andra tjänster samt genom SKC. Respondenterna upplever däremot att den icke-projektrelaterade basfinansieringen är begränsad. Givet den upplevda bristen på extern finansiering, ser de basanslagen som extra viktiga för att kunna upprätthålla forskningsområdena.

Övrig nationell finansiering under de senaste åren har kommit från utlysningar av Vetenskapsrådet och Stiftelsen för Strategisk Forskning. Det finns i nuläget inga finansierande aktörer som har ett tydligt fokus på innovation sett till teknisk mognadsgrad och nya lösningar. Även om forskare inom materialforskning tidigare har mottagit finansiering från Vinnova uppger ingen av kartläggningens respondenter att de gör det i nuläget. Bland internationella finansiärer framhäver de EURATOM som den mest framträdande.

2.2.1 Finansiering av kärnkraftsrelaterad FoU i Sverige har minskat

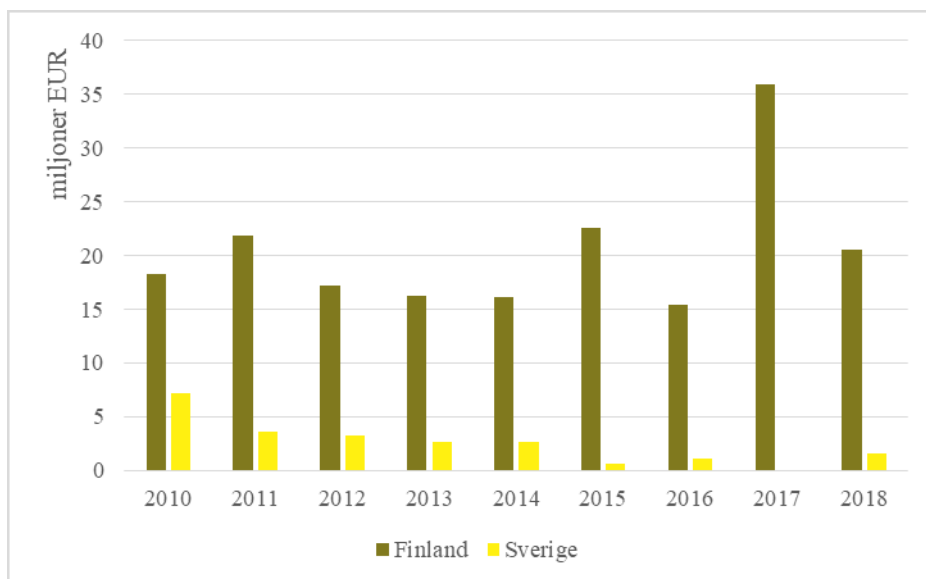
Enligt data från International Energy Agency, som visas i Figur 2, har den svenska FoU-finansieringen relaterat till kärnkraftsenergi minskat mellan 2010 och 2018.⁷ Som mest uppgick den svenska FoU:n till 7,16 miljoner EUR 2010. 2015 hade den minskat till 0,6 miljoner EUR för att sedan stiga till 1,62 miljoner EUR 2018. I genomsnitt uppgick den årliga svenska finansieringen till 2,82 miljoner EUR mellan 2010 och 2018.⁸ Detta kan jämföras med Finland. Här saknas tydliga trender kring minskning eller ökning av forskningsfinansieringen för tidsperioden.⁹ Mellan 2010 och 2018 har landet i genomsnitt spenderat 20,45 miljoner EUR på FoU relaterat till kärnkraft. Det bör dock påpekas att de svenska siffrorna som inrapporteras till IEA inte inkluderar vare sig SSM:s eller SKC:s anslag, vilket innebär att jämförelsen bör tolkas med försiktighet.

⁷ IEA (2020) *Energy Technology RD&D (2020 early edition). Detailed Country RD&D Budgets*. "Sweden, Nuclear" < <http://wds.iea.org/WDS/TableView/dimView.aspx?ReportId=1399> >.

⁸ Sammanställningen är baserad på inrapporterade data från Energimyndigheten, Vinnova, Formas och Vetenskapsrådet. Siffror för 2017 är inte tillgängliga. Sammanställningen inkluderar alltså inte SSM:s anslag.

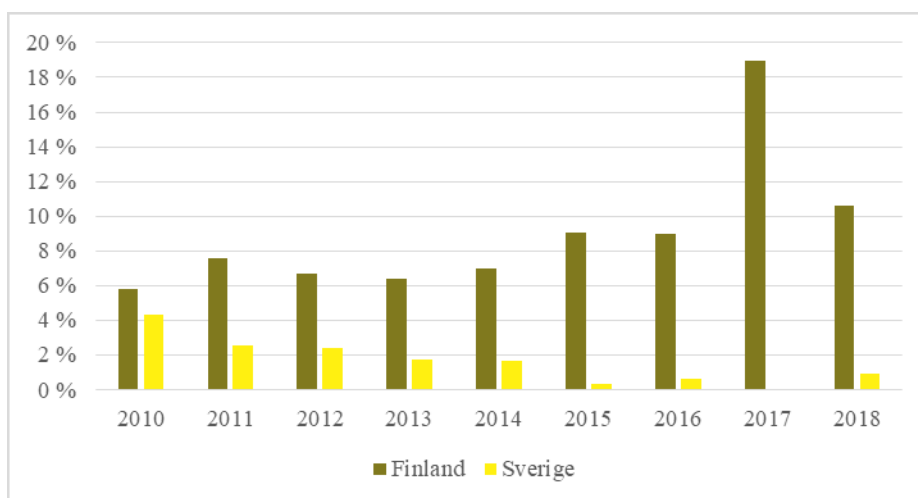
⁹ IEA (2020) *Energy Technology RD&D (2020 early edition). Detailed Country RD&D Budgets*. "Finland, Nuclear" < <http://wds.iea.org/WDS/TableView/dimView.aspx?ReportId=1399> >. Sammanställningen är baserad på inrapporterade data från Arbets- och Näringsministeriet, Statens kärnavfalls-hanteringsfond, Tekes, VTT, Geologiska Forskningscentralen, Finska Akademin, Miljöministeriet, Finnvera, Nordiska investeringsbanken, Jord- och skogsbruksministeriet.

Figur 2. Finansierad FoU inom kärnkraftsområdet i Finland och Sverige 2010–2018 (2019-priser och valutakurser) enligt IEA:s sammanställning.



När det gäller hur stor andel kärnkraftsrelaterad FoU utgör av den totala energiforskningen sett till finansiering, minskade den svenska andelen från 4,3 procent i 2010 till 0,9 procent i 2018 (Figur 3). I genomsnitt har kärnkraftsrelaterad forskning utgjort 1,6 procent av den energiforskning som finansierats. I Finland har andelen kärnkraftsrelaterad FoU sett till total finansiering under perioden varierat mellan 5,8 och 19 procent, i genomsnitt 9 procent.¹⁰ En trolig förklaring till de omfattande skillnaderna är att Finland satsar på kärnkraft som energikälla bland annat genom nya kärnkraftverk. Sverige har, i motsats, länge drivit en linje mot att avveckla kärnkraften.

Figur 3. Kärnkraftsrelaterad FoU som andel av finansierad FoU inom energifrågor i Finland och Sverige 2010–2018 (2019-priser och valutakurser) enligt IEA:s sammanställning.



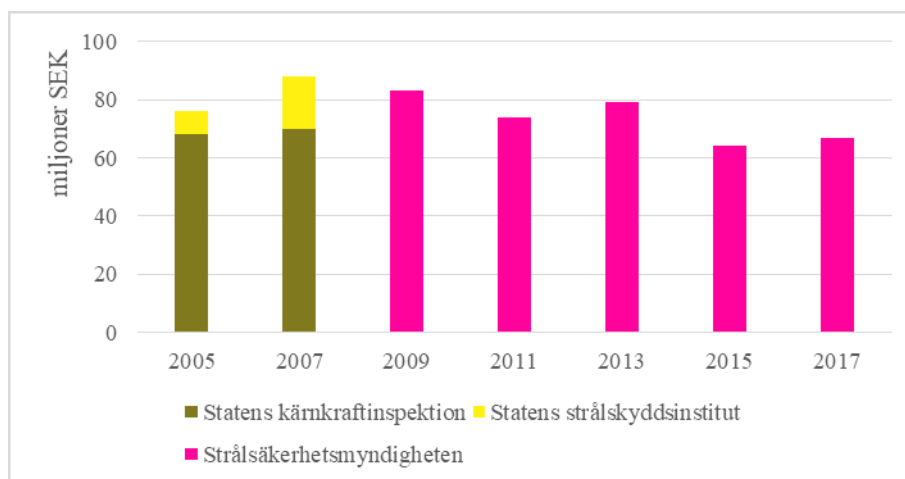
¹⁰ Se Bilaga E för figurer som visar hur mycket finansiering olika områden inom energiforskningen fått i Finland och Sverige 2010–2018

2.2.2 SSM finansierar forskning för att upprätthålla kompetens och utveckla tillsynen

Bland nationella aktörer är SSM en viktig finansiär för många forskargrupper. Myndighetens forskningsmedel kommer till stor del från industrin via avgifter som baseras på antalet reaktorer. Medlen som SSM delar ut finansierar antingen en doktorand eller ett avgränsat projekt som är av intresse för utvecklingen av SSM:s tillsynsverksamhet. Enligt SSM:s regleringsbrev, uppgår de totala forskningsmedlen till 76 miljoner SEK 2020.¹¹ En övervägande del av dessa medel går till projekt inom kärnkraftsområdet.

SSM:s utdelade medel har minskat något sedan myndigheten skapades genom en sammanslagning av Statens Kärnkraftsinspektion och Statens Strålskyddsinstitut 2008, vilket visas i Figur 4. Sett till årliga utdelade medel förblir myndigheten den avsevärt största finansiären av kärnkraftsrelaterad forskning i Sverige.¹²

Figur 4. Strålsäkerhetsmyndigheternas utgifter för utlagd FoU 2005–2017, enligt data inrapporterat till SCB.



2.2.3 SKC kanaliserar industrins forskningsfinansiering till akademien

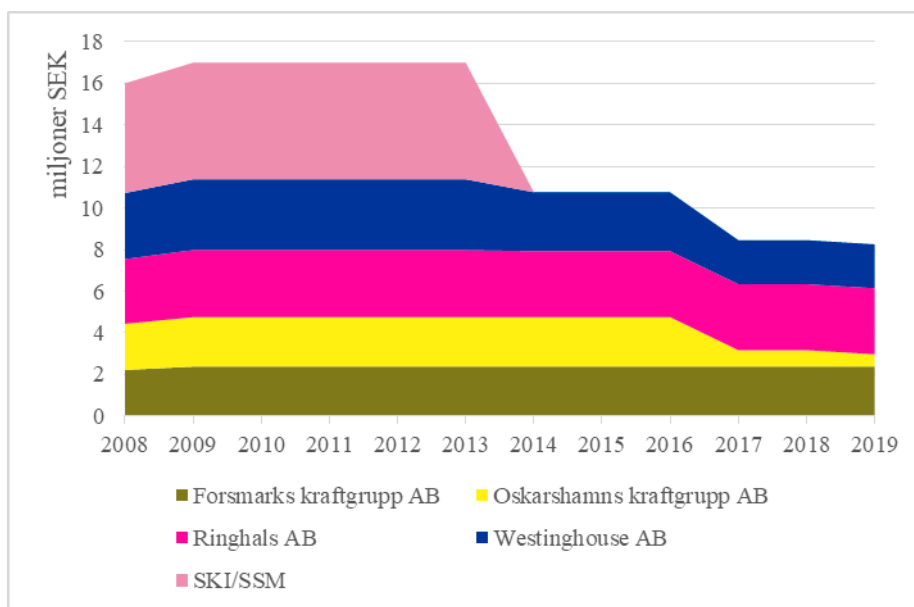
SKC kanaliserar medel från sina medlemmar – kärntekniska verksamheter – till forskning på Chalmers, KTH och Uppsala universitet. Medlemmarna betalar årligen en avgift till SKC, vilket fastställs i treårsperioder och sedermera delas ut genom årliga utlysningar. Figur 5 visar hur SKC:s fördelning av intäkter från verksamheter sett ut mellan 2008 och 2019.¹³ Fram till 2014 var SSM medlem av SKC och deras utträde innebar därför en avsevärd minskning i intäkter och utdelade medel. Andra minskningar av intäkter förklaras med att OKG tog två reaktorer ur drift 2017.

¹¹ Miljödepartementet (2019) *Regleringsbrev för budgetåret 2020 avseende Strålsäkerhetsmyndigheten*.

¹² SCB (2020). *Forskning och utveckling i Sverige. FoU i offentlig sektor*. <<http://www.scb.se/uf0301>>

¹³ Baserat på SKC:s årsrapporter, tillgängliga på <<https://www.skckth.se/omskc/publikationer/rapporter>>

Figur 5. SKC:s intäkter från medlemsverksamheterna, 2008–2019.



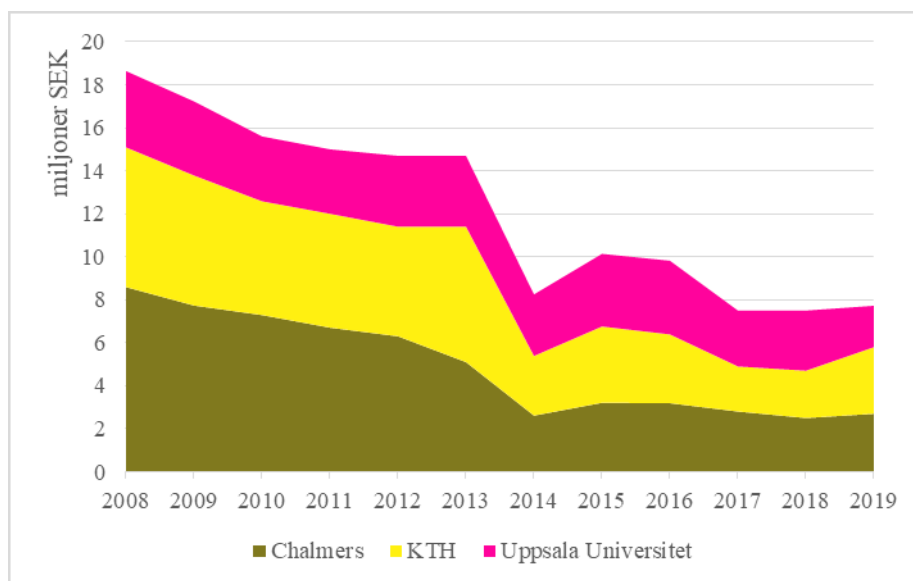
Från år 2020 är SSM åter medlemmar i SKC. De kommer att bidra med drygt 20 miljoner SEK under en fyraårsperiod och blir därmed den största finansiären. Medlen tas från deras befintliga forskningsbudget.

Medlen från SKC finansierar främst doktorander. Projekten som SKC finansierar är av intresse för industrin och är i nuläget prioriterade mot material- och hållfasthetsfrågor. Som visat i Figur 6, har andelen medel som tilldelats lärosätena varierat historiskt sett och minskat parallellt med SKC:s intäkter.¹⁴ I dagsläget är fördelningen av medel mellan lärosätena dock någorlunda jämn. För avtalsperioden 2020–2023 ställer SKC 52 miljoner SEK (13 miljoner SEK per år) till förfogande för att högskolorna ska kunna genomföra utbildning och forskning. Av dessa består 4 miljoner SEK per år av basstöd och 8 miljoner SEK per år av projektstöd. Återstående 4 miljoner SEK går till SKC:s interna administration.¹⁵ Basstödet är inte knutet till specifika projekt, utan ett stöd som tilldelas lärosätena för att använda där de har störst behov. Detta kan exempelvis handla om att upphandla eller upprätthålla infrastruktur eller skicka studenter till laboratorier i utlandet för att genomföra experiment.

¹⁴ Baserat på SKC:s årsrapporter, tillgängliga på <<https://www.skck.kth.se/omskc/publikationer/rapporter>>

¹⁵ Svenskt Kärntekniskt Centrum (2020) *Programbeskrivning 2020–2023*

Figur 6. SKC:s utdelade medel till lärosäten, 2008–2019.



2.2.4 Fåtal utlysningar från övriga nationella aktörer

Sedan 2018 har SSM:s och SKC:s regelbundna finansiering kompletterats av utlysningar från Vetenskapsrådet (VR) och Stiftelsen för Strategisk Forskning (SSF). Dessa utlysningar utgör dock en begränsad andel av den totala finansieringen:

- **Vetenskapsrådet** genomförde 2019 en utlysning av medel för att stödja forskning inom området ny kärnteknik för fjärde generationens kärnkraft. Totalt delades 29,8 miljoner SEK ut till Chalmers, KTH och Uppsala universitet i projektbidrag, etableringsbidrag och bidrag till post-docplaceringar utomlands för 2019–2022.¹⁶
- **Stiftelsen för Strategisk Forskning (SSF)** finansierar forskning inom naturvetenskap, teknik och medicin med ungefär 700 miljoner SEK om året. SSF tilldelade 2020 50 miljoner SEK till KTH mellan 2020 och 2026 för att skapa ett center för hållbar kärnteknisk forskning i Sverige (SUNRISE), med fokus på att förbereda drift av en fjärde generationens blykyld forskningsreaktor.¹⁷ Medan KTH förvaltar centret medverkar även Uppsala universitet, Luleå Universitet och flera internationella lärosäten. Centret har även stöd från kärnkraftsindustrin, stålindustrin samt kommun och myndigheter.¹⁸

¹⁶ Vetenskapsrådet (2019) *Beslut publicerat: Ny kärnteknik* <<https://www.vr.se/soka-finansiering/beslut/2019-06-25-ny-karnteknik.html>>

¹⁷ Stiftelsen för Strategisk Forskning (2020) *Här är de SSF-ARC-center som får dela på 200 miljoner kronor* <<https://strategiska.se/pressmeddelande/har-ar-de-ssf-arc-center-som-far-dela-pa-200-miljoner-kronor/>>

¹⁸ University of New South Wales (Australien), Bangor University (Storbritannien), MIT (USA), Uniper, Westinghouse, Sandvik/Kanthal, Outokumpu, Jernkontoret, Safetech, SSK, Oskarshamns kommun

2.2.5 Internationell finansiering genom EURATOM

Många forskargrupper deltar i internationella forskningsprojekt som mottar finansiering genom EURATOM-projekt inom Horisont 2020-programmet. Svenska aktörer har mottagit totalt 10 789 000 EUR (~113,1 miljoner SEK) för forskning inom strålningsvetenskaper (inklusive medicinsk strålning) mellan 2014 och 2020.¹⁹

2.3 Infrastrukturer och laboratorier

Svenska forskare har tillgång till vissa infrastrukturer samt driver även några framstående laboratorier. KTH, Chalmers och Uppsala universitet driver alla laboratorier och är framstående inom olika områden. På KTH finns ett kärnforskningslaboratorium som bland annat möjliggör bränsleforskning samt ett laboratorium för termohydraulik och säkerhetsfrågor. Det senare är det enda av sitt slag i Sverige. Även Westinghouse nyttjar detta för sin forskning. På Uppsala universitet finns ett laboratorium för materialanalys samt jonacceleratorer. Chalmers har Sveriges enda laboratorium som ger möjlighet att undersöka aktiva material.

Bland verksamheterna har Studsvik avancerade testanläggningar med möjlighet att pröva aktiverade komponenter. Respondenter från lärosätena upplever dock att samarbeten med Studsvik har försvårats sedan Studsviks privatisering som gjort att samarbeten blivit dyrare och mer formaliserade.

Förutom nationella samarbeten mellan enskilda lärosäten samt mellan lärosäten och verksamheter vad gäller tillgången till infrastrukturer och laboratorier ger även internationella samarbeten tillgång till resurser. Westinghouse har exempelvis avancerade bränsleforskningslaboratorium i Storbritannien och USA. Svenska lärosäten har även en rad internationella samarbeten som ger tillgång till infrastruktur på lärosäten och nationella forskningsinstitut. Bland annat har svenska forskare och doktorander haft möjlighet att genomföra forskning på den finska TSO:n, Teknologiska forskningscentralen VTT:s forskningsanläggning i Espoo i Finland.

2.4 Nätverk och samarbeten

2.4.1 Många etablerade nationella samarbeten

Som tidigare nämnts är det en begränsad mängd aktörer som aktivt arbetar med forskning eller utveckling inom kärnkraft i Sverige. Majoriteten av forskningen sker vid universitetet. Enbart en mycket liten del av forskningen och utvecklingen sker vid kraftbolagen i Sverige. Däremot är samarbeten mellan aktörerna mycket vanligt, genom centrumbildningar, nätverk och inom projekt.

Bland de utvecklingsprojekt som verksamheterna själva driver är samarbete mycket vanligt. Eftersom projekt inom bestrålade material är resursintensiva, framhäver respondenterna att det är svårt för enskilda parter att själva bedriva projekt. Därför sker nästan all forskning och utveckling i samarbeten snarare än konkurrens. Förutom SKC och dess medlemmar är Energiforsk, Studsvik och andra branschgrupperingar viktiga aktörer för den forskning och utveckling som genomförs av industrin. Även tvärvetenskapliga samarbeten är vanliga, särskilt med materialforskningen, som är ett viktigt möjliggörande forskningsområde.

¹⁹ EURATOM (2020) *SE Participation Euratom Fission FP7 and H2020* [internt arbetsdokument]

SKC utgör ett etablerat nätverk och samarbetsorgan för industrins parter. SKC, som disponerar forskningsmedel till lärosätena, finansieras av Forsmark, Ringhals, OKG och Westinghouse samt, sedan 2020, SSM. Centrumbildningen styrs av ett fyraårigt avtal mellan finansiärerna och Chalmers, KTH och Uppsala universitet.

Inom akademien har samarbetsplattformen SAINT (Svenskt Akademiskt Initiativ för Strålningsvetenskaper) etablerats. Syftet är att säkra Sveriges nationella strålningsvetenskapliga kompetens genom att effektivisera och samordna forskning och utbildning inom det strålningsvetenskapliga området. SAINT ska även utgöra en oberoende akademisk källa till den berörda forskningen. Förutom kärnteknik fokuserar plattformen även på allmän och medicinsk strålning. Medan Chalmers och Uppsala universitet har varit drivande i plattformens etablering har KTH valt att stå utanför detta samarbete.

2.4.2 Internationella samarbeten på flera nivåer

Både SSM, verksamheter och akademien deltar i en rad internationella forskningssamarbeten. Detta, enligt respondenterna, då de stora utvecklingsfrågorna kräver anläggningar och storskaliga projekt som endast är gångbara internationellt, eller i ett fåtal länder med omfattande forskningsprogram. Sverige deltar i internationella samarbeten utifrån ett botten-upp-perspektiv och inom enskilda områden.

Verksamheter

Bland de verksamheter som ingår i större koncerner sker flera internationella FoU-samarbeten. Som exempel kan nämnas:

- **Cyclife Sweden** har samarbeten med franska universitet genom sina franska ägare EDF.
- **Westinghouse** i Sverige samarbetar med sina systerföretag i USA och Storbritannien, då det är mer kostnadseffektivt. Genom nätverket MUSIC bidrar de till att finansiera cirka 20 doktorander runtom i världen.
- Alla energiproducerande verksamheter är medlemmar i **EPRI** (Electric Power Research Institute), ett stort amerikanskt nätverk som bedriver forskning inom flera områden. Verksamheterna är med och röstar fram vilken forskning som ska bedrivas samt samfinansierar.
- Flera verksamheter deltar även i den europeiska plattformen **SNETP** (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform).
- Flera verksamheter deltar i **EU-finansierade forskningsprojekt** samt i **OECD-NEA:s** så kallade joint projects som samfinansieras av medlemsländerna.²⁰
- Både verksamheter och akademi har tidigare varit engagerade i det internationella samarbetet kring **Haldenreaktorn**. Sedan reaktorn lades ned är enbart MTO-forskningen kvar, vilken Vattenfall är särskilt engagerade i.

²⁰ T.ex. NEA Halden Reactor Project, EA Primary Coolant Loop Test Facility (PKL-4) Project, NEA Reduction Of Severe Accident Uncertainties (ROSAU) Project, NEA Rod Bundle Heat Transfer (RBHT) Project, NEA International Common-cause Failure Data Exchange (ICDE) Project

Akademien

Även inom akademien finns många internationella forskningssamarbeten. Företrädare för lärosäten betraktar internationella samarbeten som en strategi som skapar en bred portfölj av möjligheter till samarbeten och finansiering. Respondenterna upplever att tillgången till internationell forskningsfinansiering är mer stabil jämfört med i Sverige, där de upplever att finansieringen är mer beroende av det politiska läget. Europa anses ha starka nationella forskningsinstitut och fler näringslivsaktörer som svenska lärosäten samarbetar med. Som exempel på internationella samarbeten kan nämnas:

- Svenska forskningsgrupper deltar bland annat i EU-finansierade projekt med andra europeiska universitet inom bland annat forskningen om fjärde generationens reaktorer och utveckling av teoretiska modeller för strålskador.
- Bland EU-länder utmärker sig Finland och Frankrike som länder där många lärosäten har särskilt nära samarbete. Exempelvis har doktorander på KTH kunnat få tillgång till den finska TSO:n VTT:s nybyggda laboratorium i Espoo eller kunnat utföra experiment vid testfaciliteter i Frankrike.
- Utöver EU-länder finns även starka forskningssamarbeten med USA, Japan, Kanada, Australien, Kina och Sydkorea.

Forskningsfinansiärer

Bland forskningsfinansiärer såsom SSM och Energiforsk finns flera internationella engagemang. Bland annat samarbetar Energiforsk med IAEA som hjälper till att sprida information om aktiviteter och resultat. SSM är engagerade i OECD-NEA där de är med och samfinansierar flera projekt.

3 Aktuella forsknings- och utvecklingsområden

Detta kapitel redovisar resultaten av den kartläggande delen av studien som fokuserat på vad som kommit fram i datainsamlingen avseende aktuella forsknings- och utvecklingsområden. Dels presenterar vi de inriktningar och fokusområden som beforskas idag, dels vilka tekniker och forskningsområden som anses vara relevanta för framtiden.

3.1 Inriktning och fokusområden

Utifrån den kartläggande delen och respondenternas svar framkommer ett antal fokusområden för den forskning och utveckling som bedrivs i Sverige.

Övergripande ligger tonvikten inom svensk forskning på frågor som behöver hanteras inom ramen för existerande kärnkraft, inte minst åldringshantering och livstidsförlängning. Viktiga forskningsfrågor som framhålls av respondenterna kan sorteras utifrån ett antal forskningsområden som återkommer i svaren. De områden som återkommer tydligast visas i Tabell 2.

Det finns bland såväl finansiärer som genomförare av forskningen ofta ett tydligt fokus mot tillämpad forskning/utveckling. Utfallet kan delvis förklaras av urvalet av respondenter, men det framkommer även i intervjuerna att kärnkraftsfrågorna framför allt uppfattas som frågor för tillämpad forskning, och att det är inom dessa som huvudsakliga finansiärer såsom kärnkraftverken engagerar sig. I tillägg finns en begränsad kärnteknisk grundforskning på höskolorna, framför allt inom reaktorfysik.

Förutom de områden som presenteras i Tabell 2 förekommer forskning och utveckling inom framtidens kärnkraft, som små modulära reaktorer och nya reaktortyper. Detta är dock inte den huvudsakliga inriktningen för de flesta systembärande aktörer, såsom kärnkraftverken och energibolagen själva, eller finansierande myndigheter som SSM. Enstaka utlysningar från exempelvis SSF och VR och forskargrupper vid till exempel Uppsala Universitet och KTH har idag aktiv verksamhet inom vad som kan kallas för framtidens kärnkraft.

Tabell 2. Inriktning, fokusområden och forskningsaktörer.

Inriktning	Fokusområden	Aktörer
Materialforskning	Analys av strukturförågor för åldrande betongstrukturer Bestrålade material och hållfasthet Förspredning och andra åldringsförågor Polymerer Additiv tillverkning	Chalmers, KTH, UU SKB
Bränsleförågor	Olyckstoleranta bränslen (ATF) Bränslediagnostik Andra bränsleteknologiska applikationer	Chalmers, KTH, UU Studsvik, Westinghouse
Avfall och förvar	Omhandertagande av använt bränsle Inkapsling Slutförvar Materiallets egenskaper Återbruk Alternativa användningar av använt bränsle	Chalmers, KTH, UU Cyclife, SKB, Studsvik
Risikanalys, haverier, MITO	Säkerhetsforskning Modellering och simulering av haverier Safeguards Löpande säker drift	Chalmers, KTH, Uppsala
Reaktorteknik	Reaktorfysik Termohydraulik	Chalmers, KTH, Uppsala Westinghouse (internationellt)
Digitalisering	Effektiva processer inom existerande kärnkraft Bättre modellering och utveckling av beräkningstekniker	KTH

3.2 Framtidens tekniker och forskningsområden

I kartläggningen framkommer en bredd av utvecklingsfrågor av intresse, sett till kärnkraftens utveckling framåt. Dessa kan delas in i fyra breda, delvis överlappande, utvecklingsområden:

- Säker fortsatt drift av existerande reaktorer
- Framtidens kärnkraft
- Kärnkraftens livscykel
- Energisystemet och kärnkraften

Utvecklingen inom varje fråga är helt eller delvis beroende av såväl forsknings- som applikationsutveckling.

Enskilda teknologier är inte i sig i fokus för aktörerna inom systemet, och det är svårt att peka ut särskilt lovande eller intressanta teknikutvecklingsfrågor utifrån kartläggningen. Varje forskningsfråga kan bidra till flera potentiella utvecklingsspår. Kartläggningen visar att endast ett fåtal större länder har program med helhetsgrepp på ny kärnteknik.

Vad som anses aktuellt och intressant för svensk forskning att utforska kan på övergripande nivå sägas bero lika mycket på hur förutsättningar utvecklas som på Sveriges unika bidrag och styrkor idag. Grundläggande förutsättningar för framtida applikationer är i sin tur beroende av institutionella förutsättningar och nationell utvecklingslinje för energisystemet som helhet.

3.2.1 *Säker fortsatt drift av existerande reaktorer*

Säker fortsatt drift av existerande reaktorer och som beforskas idag, överlappar till stor del med de forskningsområden som angetts i avsnitt 3.1.

3.2.2 *Framtidens kärnkraft*

Framtidens kärnkraft är ett område med vissa tydliga forskande miljöer i Sverige, men inte det främst förekommande. Inom framtidens kärnkraft är det huvudsakligen två övergripande och delvis överlappande utvecklingsspår som intresserar respondenterna. Det finns inte någon enskild teknisk lösning som kan sägas utgöra framtidens kärnkraft, och även inom de utvecklingsspår som idag är av intresse finns flera olika specifika teknikutvecklingsmöjligheter som skiljer sig från varandra.²¹

Fjärde generationens kärnkraft

Fjärde generationen är ett samlingsbegrepp för olika reaktortyper som skulle kunna ersätta dagens reaktorer. Det innebär inte en specifik teknisk lösning. De olika specifika reaktortyper som det idag forskas på i världen har olika tidshorisont för när de kan bli aktuella, och bygger på olika tekniska innovationer. Gemensamt är dock målsättningen att öka effektivitet (såväl produktionseffektivitet som kostnadseffektivitet) och säkerhet, samtidigt som avfall minimeras.

²¹ Se Bilaga F: Vidare läsning om framtidens kärnkraft för förslag på vidare läsning om fjärde generationens kärnkraft och små modulära reaktorer

Små modulära reaktorer

Små modulära reaktorer karakteriseras dels av lägre energiproduktion, dels av att de är just modulära, det vill säga i högre grad består av förkonstruerade system som potentiellt kan serietillverkas samt kräver mindre byggnation på plats jämfört med existerande kärnkraftverk.²² Sådana reaktorer och kärnkraftverk kan komma att leda till lägre investeringskostnader, högre säkerhet, och större flexibilitet i utbyggnad. Små modulära reaktorer kan bygga på existerande reaktortyper, eller på nya, fjärde generationens, reaktortyper.

3.2.3 Kärnkraftens livscykel

Sett till applikationsmöjligheter är livscykelfrågorna i hög grad beroende av, och kan påverka, utvecklingen inom reaktortyper. Oavsett utvecklingsspår för framtidens kärnkraft finns dock tydliga livscykelfrågor som respondenterna ser behöver behandlas. En sådan är avfallsfrågan, där vissa respondenter uttrycker att frågan behöver utforskas ytterligare även i relation till existerande lösningar för slutförvar. En annan fråga som är oberoende av framtida reaktortekniker är säker avveckling av existerande kärnkraft. Livscykelfrågorna går även tydligt in i utvecklingen av bränslen, för både existerande och framtida kärnkraft.

3.2.4 Energisystemet och kärnkraften

Energisystemet och kärnkraften kan ses som ett fjärde område som rymmer ett flertal frågeställningar respondenterna lyfter. Exempel på detta är rollen för kärnkraft i ett mer flexibelt framtida energisystem. Även detta område kan tydligt relateras till, och har ett ömsesidigt beroende av, utvecklingen av nya reaktorer eller kraftverkstyper. Rollen i ett energisystem för små modulära reaktorer är till exempel annorlunda än för dagens energiproducerande kärnkraftverk.

Vissa respondenter uttrycker att det finns gap inom dagens energisystemforskning och kärnkraftens roll inom detta. Delar av forskningen är polariserad och utgår från en ibland förbestämd premiss – ett energisystem där kärnkraften definieras bort alternativt antas spela en mycket betydande roll. Dessa respondenter menar att det gör att kärnkraftens faktiska roll blir svårare att utreda.

Samtidigt menar vissa respondenter att kärnkraftens potentiella möjligheter i energisystemet är relativt väl kända, och att den tekniska utvecklingen inte är beroende av vidare forskning på detta område. Utöver elproducerande kärnkraft finns dock också andra applikationer inom ett framtida energisystem, såsom tillverkning av vätgas och ersättning av kol vid ståltillverkning. I vilken grad dessa alternativa applikationer ses som aktuella och intressanta att fokusera på varierar mellan respondenterna.

²² OECD-NEA, 2016, *Small Modular Reactors: Nuclear Energy Market Potential for Near-term Deployment*

4 Behov för forskning och utveckling framåt

I detta kapitel presenterar vi de behov relaterade till nuvarande och framtida kärnkraftsforskning som framkommit mot bakgrund av studien. Vi resonerar runt långsiktiga institutionella och strukturella förutsättningar, samordning, framtidsfrågor, bas- kontra projektfinansiering samt upplevda gap.

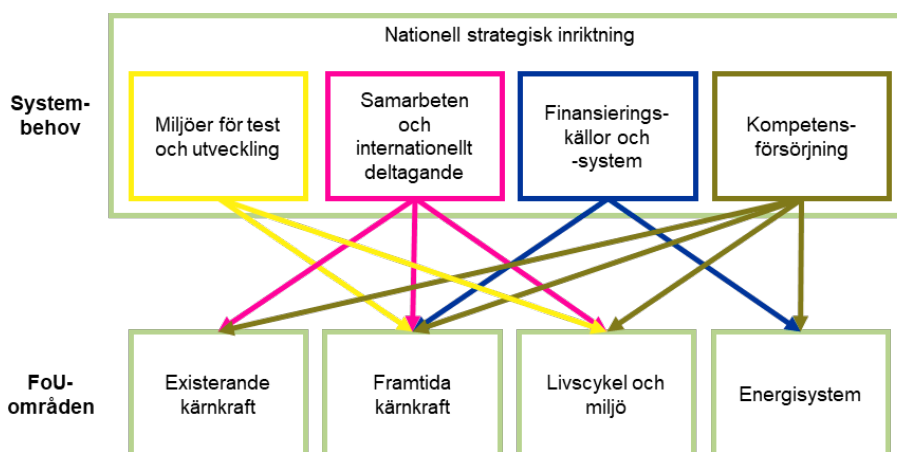
Enligt det teoretiska ramverket om tekniska innovationssystem som presenteras i avsnitt 1.2.2 består ett innovationssystem av fyra delar: aktörer, nätverk, teknik och institutioner. Genom studien har vi identifierat ett antal specifika behovsområden kopplade till systemets delar:

- **Aktörer:** miljöer för test och utveckling, finansieringskällor- och system, kompetensförsörjning
- **Nätverk:** samarbeten och internationellt deltagande
- **Teknik:** FoU-områden (existerande kärnkraft, framtida kärnkraft, livscykel och miljö, energisystem)
- **Institutioner:** nationell strategisk inriktning

Utifrån respondenterna och Oxford Researchs bedömning utgör ett institutionellt ramverk det viktigaste enskilda behovet, då detta har bäring på systemets övriga delar. Det specifika institutionella ramverket som efterfrågas är en nationell strategisk inriktning för kärnkraftsforskningen. Ett institutionellt ramverk i form av en nationell strategisk inriktning kommer att påverka innovationssystemets förutsättningar för att möta behoven.

De behovsområden som identifierats påverkar olika forskningsområden i olika grad. Medan exempelvis miljöer för test och utveckling är en särskilt viktig fråga för framtida kärnkraft och livscykelfrågor, är kompetensförsörjning en bred fråga som påverkar alla aspekter av forskningen. De huvudsakliga beröringspunkterna mellan systembehov och de forsknings- och utvecklingsområden som beskrivits i avsnitt 2.1 illustreras av Figur 7.

Figur 7. Systembehov och forsknings- och utvecklingsområden.



4.1 Institutionellt ramverk

Mot bakgrund av denna studies datainsamling ser Oxford Research ett övergripande behov av ett institutionellt ramverk. Ett ramverk med bäring på samtliga utvecklingsbehov inom kärnkraft framåt. Ett ramverk som av respondenterna anses svara upp mot bristen på en tydlig nationell strategisk inriktning för framtida kärnkraft. Kärnkraftens långa utvecklingsperspektiv kräver långsiktighet i institutionella och strukturella förutsättningar. Det gäller såväl tekniskt (elsystem), institutionellt (energimarknad, regelverk), som resurser (finansiering, kompetens).

Bakom många av de frågeställningar som respondenterna lyfter ligger en grundläggande osäkerhet avseende incitament och möjligheter för såväl forskningens prioritet som nya kärntekniska applikationer. Akademi och industri följer de signaler som ges från nationellt håll. Utan tydliga utvecklingsmöjligheter nedprioriteras innovativ forskning.

En sådan osäkerhet är i sig inte nödvändigtvis en effekt av eventuell avveckling av existerande kärnkraft. Däremot påverkar osäkerheten möjligheten att samordna forskning kring vilka frågor som utgör relevanta framtidsfrågor – oavsett om dessa utgår från ett system med eller utan kärnkraft – då dessa i hög grad avgörs av vad som är den strategiska inriktningen. Även alternativet utan kärnkraft kan uttryckas i nationell samordning och strategi, såsom exempelvis gjorts i Tyskland.

Givet de ömsesidigt beroende frågeställningarna är också samhandling ett behov som kan utläsas. Eventuella tekniska utvecklingslinjer – som de olika spåren inom fjärde generationens kärnkraft – kräver ett nationellt perspektiv och nationellt ansvarstagande. Det handlar om att gå från samsyn till samarbete och vidare till samhandling mellan akademien, verksamheter och det offentliga stödsystemet. I dagsläget upplever många att det offentliga inte deltar och det finns en efterfrågan efter att institutionella offentliga aktörer tar en större roll. Rent konkret skulle en sådan samhandling kunna innebära en triple-helix-modell där alla aktörer skriver under på en gemensam överenskommelse eller strategi.

I en internationell kontext behöver Sverige också uttryckta nationella prioriteringar och nischer som kan stärka mervärdet av samhandling. Genom att ta fram sådana prioriteringar skulle Sverige kunna få en ökad nationell synlighet och kapacitet att delta i internationella samarbeten. På detta sätt skulle andra länder även kunna se ett mervärde av att samarbeta med Sverige i specifika frågor.

4.1.1 Långsiktighet i utvecklingshorisonter

Målet för den svenska energipolitiken till år 2040 är 100 procent förnybar elproduktion. Enligt ramöverenskommelse från 2016 mellan Socialdemokraterna, Moderaterna, Miljöpartiet de gröna, Centerpartiet och Kristdemokraterna innebär detta för kärnkraften inte ett stoppdatum som förbjuder kärnkraft, och det innebär inte heller en stängning av kärnkraft med politiska beslut.²³

Vad gäller politiken inom EU så upplever respondenterna de enskilda medlemsstaternas politiska styrning avseende kärnkraftens vara som i viss mån oförutsägbart och detaljstyrt. De menar att skillnaden i de politiska inriktningarna försvårar långsiktiga gemen-

²³ Regeringen, 2016 *Ramöverenskommelse mellan Socialdemokraterna, Moderaterna, Miljöpartiet de gröna, Centerpartiet och Kristdemokraterna*

samma forskningsprogram eller satsningar på EU-nivå. Energiforskningen i Sverige anses i sin tur av respondenterna inom kärnkraftssystemet ofta kortsiktig och smal, och att politiska mandatperiodshorisonter för kärnkraften omöjliggör ett långsiktigt perspektiv.

4.1.2 Förutsättningar för kärnkraft

Det lyfts i intervjuerna att Sverige på medellång sikt behöver få till ett diversifierat system med flera energikällor, som möjliggör en förenig av de tre energipolitiska grundpelarna försörjningstrygghet, konkurrenskraft och ekologisk hållbarhet. Respondenterna menar att kärnkraften hamnar i skymundan och månar om att alla energislag får samma utrymme i de strategiska diskussionerna runt de energipolitiska grundpelarna.

För att veta hur det ska se ut på lång sikt anser flera att det behöver föras en strategisk diskussion om hur Sverige ska lägga upp sitt energisystem framöver, och vilka tekniska och institutionella ramar som kärnkraften ges. Frågor med bäring på den möjliga utvecklingen som lyfts är många och breda. Institutionella frågor som nämns inkluderar vilket regelverk som behövs, vilka myndigheternas behov är för att hantera nya sorters reaktorer, hur kompetensförsörjningen säkras inom kärnkraft som energislag, och hur energimarknaden och betalningsmodeller ska se ut. Tekniska frågor inkluderar hur infrastrukturen ska se ut, hur kapacitet kan upprätthållas/utvecklas för alla verksamheter som tillhandahåller el? I den mån en sådan diskussion redan pågår behöver den kommuniceras tydligare.

Frågorna berör även den önskade rollen för kärnkraft i energisystemet. Ska kärnkraften prioriteras som en brygglösning framför fossila energikällor? Hur kärnkraften fungerar är enligt vissa respondenter väl känt, men flera upplever en saknad av forskning om kärnkraften som naturlig del av det svenska energisystemet. Det anses behövas mer samordning inom kärnkraften samt samverkan och jämförelser med andra energikällor i energisystemet.

Respondenterna upplever ofta att det saknas en tydlig politisk röst som för dessa diskussioner framåt. Flera som intervjuats menar att det behöver bli tydligt om kärnkraften har en plats i de långsiktiga målen för energiförsörjning. Kärnkraft framhålls som ett multidisciplinärt område, och en nationell strategi förutsätter en målbild och inriktningen utifrån kunskap om hela energisystemet där kärnkraften utgör en del.

4.1.3 Samordning inom systemet

Flera vi intervjuat menar att det i Sverige saknas forskningssamordning inom kärnkraftsområdet – alla enheter kämpar för att hålla sina forskare finansierade istället för att samarbeta. Trots att det finns starka samarbeten inom akademien, upplever respondenterna att samverkan måste ske ur ett botten-upp-perspektiv. Flera menar att konkurrens har prioriterats över samverkan, exempelvis i VR:s utlysning av projektbidrag för forskning om ny kärnteknik.

Vidare menar respondenterna att staten skulle behöva uttrycka en tydlig medfinansieringsstrategi, som det finns i andra länder såsom Storbritannien. En tydlig nationell strategi, likt den i Finland som är direkt kopplad till kärnkraftsindustrin, anses ge möjligheter inom flertalet forskningsinriktningar. Idag finns i Sverige ingen koordinering som pekar ut riktningen för vilken utveckling som är önskad framöver. Processerna anses idag utgå från ett botten-upp-perspektiv, vilket inte upplevs vara ett sätt att nå en framgångsrik strategi.

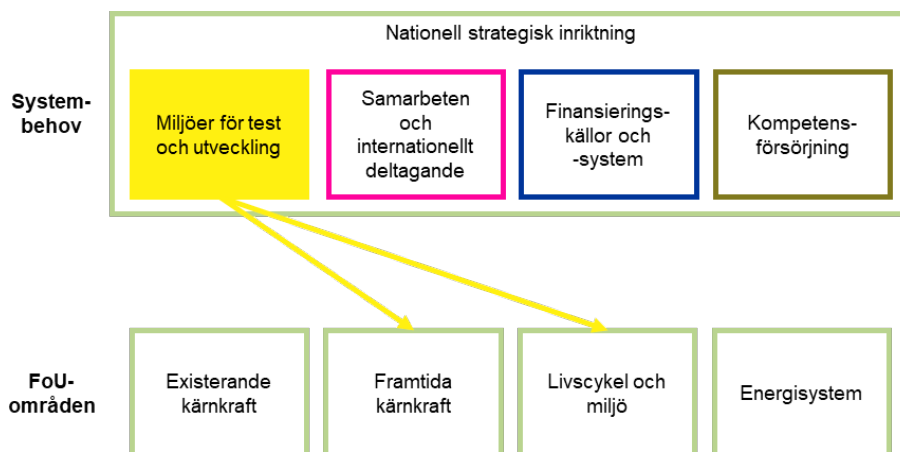
4.1.4 Önskad teknisk utveckling

Respondenter menar att det i grunden måste finnas politiska beslut avseende den tekniska utvecklingen för kärnkraften. Om man exempelvis vill fortsätta bedriva kärnkraft som det ser ut i nuläget, behöver det fortfarande investeras i nya tekniker som kan använda avfall som bränsle. För att anamma fjärde generationens reaktortyper i något utförande krävs nationellt ansvarstagande – staten måste ge tydliga signaler om att frågan är viktig, så att fler vågar satsa på utbildning och forskning.

Samtidigt har respondenterna inget tydligt svar på frågan om vilken finansiering som kan utgöra grund för att Sverige ska kunna satsa på innovationsteknik som skulle göra skillnad för världen. De anser det inte möjligt eller önskvärt att försöka mäta sig med de stora kärnkraftsnationerna, men däremot ser de att det är önskvärt att det finns finansiering för nischad kunskap. Exempelvis specifika kärnteknikområden som bidrar till förändring, så som att använda kärnkraft för att ersätta kolintensiva metoder för stålframställning.

4.2 Miljöer för test och utveckling

Figur 8. FoU-områden kopplade till miljöer för test och utveckling.



Oxford Research bedömer att för att innovationssystemet inom kärnkraft ska vara livskraftigt måste befintliga miljöer för test och utveckling upprätthållas. Sverige har internationellt framstående infrastrukturer inom flera områden, såsom analys av aktiva komponenter och termohydraulik. Men faciliteterna är dyra att upprätthålla och flera lever en osäker tillvaro utan långsiktigt säkrad finansiering. Flera respondenter påpekar att nationella testanläggningar (till exempel testreaktor) vore en möjlighet till internationell profilering som skulle förbättra möjligheterna att faktiskt utveckla ny teknik. Oxford Research ser att detta visserligen skulle kunna stärka Sveriges position inom framtidsforskningen, men att det också är en fråga som är tydligt kopplad till den långsiktiga strategiska inriktningen för kärnkraften och kärnkraftsforskningen.

4.2.1 Upprätthålla befintliga infrastrukturer

Trots flera framstående kärntekniska faciliteter i Sverige, anser respondenterna att det inte i tillräcklig grad fyller de behov som finns. Svenska forskargrupper behöver därför samverka och arbeta i andra länders verksamheter och projekt som har faciliteter. Flera respondenter menar även att det finns ett behov av bättre utrustning i Sverige, till exempel i form av simulatorer.

Sverige har få, men i flera fall internationellt erkända, forskningsinfrastrukturer. Respondenterna påpekar att de faciliteter som finns idag behöver underhållas och finansieras. Faciliteterna är dyra att upprätthålla och börjar i vissa fall bli föråldrade, vilket gör att det finns en oro för framtida brister. Kan de inte upprätthållas, löper det stor risk att bli en nationell förlust.

Vissa respondenter uttrycker till exempel oro över SKB:s framtida roll och ansvar sett till tillgång till infrastruktur och samverkansmöjligheter internationellt inom avfalls-, livscykel- och bränslefrågor. Även anläggningen vid Studsvik anses viktig av respondenterna, även om vissa uttrycker att det är väldigt dyrt att använda testmöjligheterna. Om Studsvik försvinner så behöver forskargrupper skicka materialen någon annanstans, och det skulle bli dyrare, och ännu mer komplicerat, anser de som deltagit i intervjuerna.

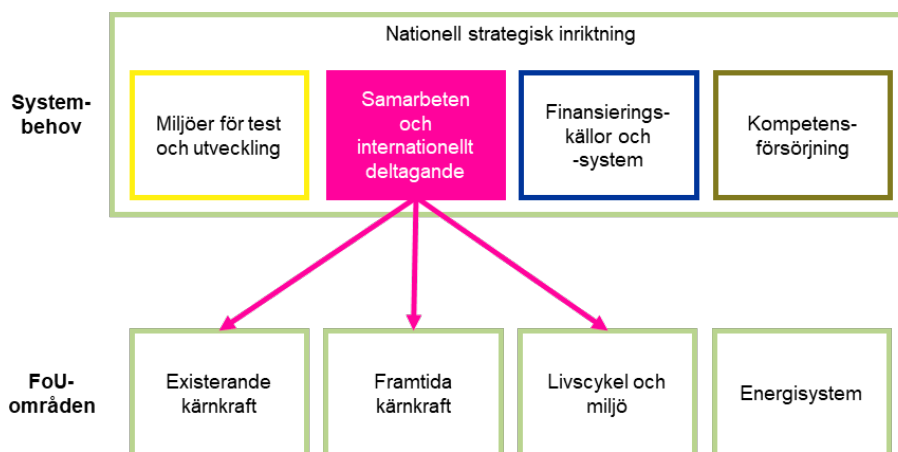
4.2.2 Infrastrukturer för framtidsforskning

Respondenterna påpekar att en specifik infrastruktur som skulle kunna sätta fart och placera Sverige på kartan är en pilotanläggning för fjärde generationens kärnkraft. Det skulle leda till positiva ringar på vattnet för kärnteknisk forskning, utveckling, innovation och framtida kompetensförsörjning.²⁴

De intervjuade anser även att det behövs en aktör som är villig att anamma ett modernt grepp och testa nya tekniker, till exempel testfaciliteter, samtidigt som det i nuläget inte anses rimligt att bygga upp stora, nya dyra testfaciliteter. Däremot menar de att pilot- och demonstrationsanläggningsprojekt är önskvärda.

4.3 Samarbeten och internationellt deltagande

Figur 9. FoU-områden kopplade till samarbeten och internationellt deltagande.



Oxford Research bedömer att Sveriges deltagande internationellt är beroende av den nationella forskningskapaciteten och förmågan att bidra: utan nationell forskning är inte internationellt deltagande möjligt. Internationella forskningssamarbeten utgår ofta från ett botten-upp-perspektiv och bygger i de flesta fall på forskarnas befintliga nät-

²⁴ Oxford Research bedömer att SSF:s satsning på centret SUNRISE på KTH, vars finansiering offentliggjordes efter datainsamlingen avslutades, till viss del, skulle kunna uppfylla detta behov.

verk och kontakter. Samtidigt finns i nuläget flera framstående forskningsgrupper med fokus på kärnkraftens olika aspekter. Vi ser därför att det behövs en tydlig viljeyttring kring Sveriges nationella deltagande i plattformar såsom EURATOM och OECD-NEA. Ett ökat internationellt engagemang sett från ett statligt perspektiv skulle även kunna ge goda förutsättningar att stärka den nationella forskningen.

Strålsäkerhetsmyndigheten, verksamheter (företag, finansiärer, branschorganisationer) och akademien deltar i en rad internationella forskningssamarbeten. Intervjuerna visar att de stora utvecklingsfrågorna kräver anläggningar och storskaliga projekt som endast är gångbara internationellt, eller i ett fåtal länder med omfattande nationella forskningsprogram som till exempel Finland, Frankrike, Storbritannien och Tyskland. Deltagande i stora EU-finansierade projekt kräver i de flesta fall även motfinansiering, vilket många respondenter kan ha svårt att möta. Vidare säger intervjuerna att Sverige främst deltar i internationella samarbeten utifrån ett botten-upp-perspektiv, inom enskilda områden och många gånger på frivillig basis kopplat till enskilda individer. Akademiska samarbeten bygger i många fall på personliga relationer och nätverk.

Det saknas enligt respondenterna från akademien idag en tydlig viljeyttring från nationellt plan för att möjliggöra ett internationellt deltagande. Respondenterna menar exempelvis att det saknas stark statlig representation och intresse för vissa fora som till exempel OECD-NEA och EURATOM. Sett från ett nordiskt perspektiv finns det även ett uttalat intresse av att se Sverige ta en större roll i internationella forum, då det skulle stärka den nordiska rösten.²⁵

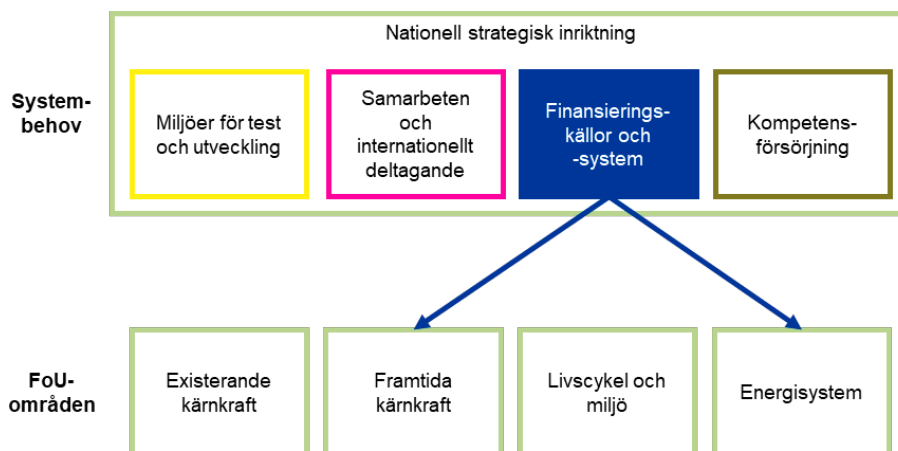
En fråga som respondenterna ställer är om Sverige vill vara ledande inom sina fält, eller om det anses räcka att enskilda forskare syns med andra forskare som är framstående. Enligt de intervjuade bedöms Sverige ligga i framkant inom vissa sådana fält såsom experimentell forskning inom reaktorfysik, instrumentering och bränsleutveckling. Men de menar att den internationella positioneringen för att möjliggöra framgångsrika nischer är beroende av en nationell forskarkapacitet och myndighetskompetens. Positioneringen möjliggör och ger förmåga att bidra med forskning.

Respondenterna menar vidare att utan nationell forskning och representation är inte internationellt deltagande möjligt. Utan en nationell strategi som är direkt kopplad till kärnkraftsindustrin kommer också det nationella bidraget till internationellt lärande att minska. För att inte förlora ett lärande som både lyfter risker och möjligheter krävs starka samarbeten på EU-nivå och internationellt.

²⁵ Intervju med representant från Finlands Strålsäkerhetscentral (STUK), maj 2019.

4.4 Finansieringskällor och -system

Figur 10. FoU-områden kopplade till finansieringskällor och -system.



Oxford Research bedömer att det inom nuvarande finansieringsstruktur finns tre huvudsakliga delar som är underfinansierade och där det saknas aktörer som tar ett helhetsgrepp: finansiering för framtida kärntekniker; finansiering för spannet mellan grundforskning och industriell innovation (oavsett teknikområde); samt basfinansiering att upprätthålla forskningskompetens och säkra återväxten av forskare vid lärosäten. Vi noterar att finansiering för ny kärnteknik börjat tillgängliggöras, exempelvis genom utlysningar från VR och SSF, men att lösningar i systemen kan påverka hur väl dessa medel fördelas sett till nytta för innovativ kärnkraft, i bemärkelsen teknisk utveckling av nya och befintliga reaktorer. Då en krympande industri står för en stor del av medlen, även för relaterade forskningsområden (strålsäkerhet m.m.), finns det en risk att den finansieringsbrist som många forskare upplever redan idag kommer att förvärras. Ett underliggande strukturellt behov utifrån ett innovationsperspektiv är att flera av de stora finansiärerna idag inte är framtidsinriktade, då deras uppdrag är specifikt kopplade till existerande kärnkraft. Detta gäller såväl finansiering från kärnkraftsindustrin genom SKC som från SSM. Även om utlysningar från VR och SSF har varit mycket välkomna, är det osäkert om sådana ”engångsutlysningar” är tillräckligt för att driva innovationen.

4.4.1 Finansiering av kärnteknisk innovation och framtidsforskning

SSM är den största finansiären av kärnteknisk forskning i Sverige. Myndigheten delar årligen ut medel (76 miljoner SEK i 2020 års regleringsbrev).²⁶ Medlen går till att upprätthålla kompetens, vanligtvis genom att finansiera doktorander, samt finansiera forskningsprojekt som stödjer myndighetens tillsynsarbete. SSM:s forskningsstrategi möjliggörs delvis genom finansiering från kärnkraftverken. Respondenterna menar att de ökade avgifterna per kärnkraftverk till följd av nedläggningen av reaktorer är bekymmersam. Respondenterna är medvetna om att SSM har ökade finansieringskrav på kärnkraftverken samtidigt som de upplever att medel för forskning minskar. Vidare anser respondenterna Strålsäkerhetsmyndighetens årliga finansiering för att upprätthålla kompetens som avgränsad till ett smalt område. Strålskydd berör så många fler

²⁶ Miljödepartementet (2019) *Regleringsbrev för budgetåret 2020 avseende Strålsäkerhetsmyndigheten*.

områden, som till exempel medicinsk strålning, än det som är relaterat till energisystemet i stort varför SSM inte anses vara en lämplig aktör att finansiera forskning om innovativ kärnkraft.

SKC kanaliserar industrins forskningsfinansiering och finansierar löpande doktorander och bidrar med basstöd till Chalmers, KTH och Uppsala. Enligt respondenterna är SKC, i likhet med SSM, inte framtidsinriktade avseende den kärnkraftsforskning som de finansierar. Deras uppdrag är snarare specifikt kopplade till långtidsdriften av existerande kärnkraft vilket begränsar möjligheterna för plattformen att finansiera framtidsforskning.

Både VR och SSF har nyligen haft utlysningar relaterat till kärnteknisk forskning, med ett specifikt fokus på framtidsforskningen. Samtidigt ser respondenterna att det finns vissa prioriteringskrockar i att finansiärerna både har i uppdrag att satsa på förnybara energikällor och att utlysa medel för kärnkraft. Det finns därför en viss skepsis hos finansiärerna att satsa på kärnkraft. Trots detta utlyste SSF nyligen medel för utmaningsdriven forskning, där fokus funnits inom fyra områden som alla anknyter till Agenda 2030. Inom området Hållbar kärnteknisk forskning kom fyra ansökningar in, där en tilldelades medel för en centrumbildning. Denna utlysning till trots så upplever respondenterna från akademien sammantaget att den nationella finansieringen för kärnteknisk framtidsforskning är begränsad.

Bland Sveriges statliga forskningsfinansiärer finns det inga tunga innovationsfinansiärer som satsar på kärnkraft. Respondenterna upplever detta som ett problem och efterlyser att det ska finnas statliga innovationsfinansiärer – såsom Vinnova eller Energimyndigheten – som aktivt finansierar innovation inom kärnkraft. Med undantag för begränsade utlysningar, ser de inte att denna typ av finansiering är tillgänglig i nuläget. Respondenterna påpekar även att det inte ligger inom de större institutionella innovationsfinansierande myndigheternas uppdrag eller prioriteringar att innefatta kärnkraft i sina energisatsningar. Antingen formellt eller i praktiken faller det utanför den energiforskning som finansieras, vilket respondenter uppfattar som problematiskt.

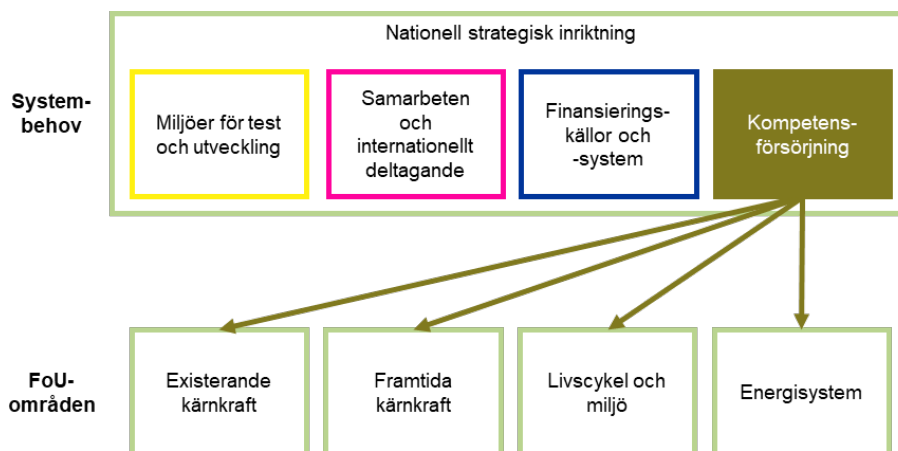
4.4.2 Beroendet av projektmedel ett hinder för långsiktighet

Respondenterna anser att projektmedel driver konkurrensen på den nationella arenan. Finansieringsformen möjliggör inte samordning mellan de olika forsknings- och utvecklingsmiljöerna för att kunna samlas och stå sig väl i konkurrensen om internationella stöd. För att Sverige ska hamna i en annan konkurrenssituation behövs enligt respondenterna statliga medel i ryggen. Bristen på detta gör att de ofta upplever utmaningar med att få motfinansiering.

Med projektformen och -medel så finns inte långsiktigheten. De menar vidare att det också gör det svårt att komma över gap mellan discipliner och överlappa med annan forskning. Till exempel skulle man tjäna på att kombinera forskning inom kärnkemi och materialvetenskap. För att möjliggöra detta så anser vissa intervjuade att det krävs en nationell strategi med basfinansiering (till exempel att en befintlig aktör får ett uppdrag) till våra lärosäten för att säkra möjligheterna till att attrahera externa och internationella projektmedel. En annan utmaning ur ett finansieringsperspektiv är hur grundforskning och tillämpad forskning ofta ställs emot varandra, vilket många respondenter från akademien upplever som ett hinder för att nå framgång.

4.5 Kompetensförsörjning

Figur 11. FoU-områden kopplade till kompetensförsörjning.



Oxford Research bedömer att den framtida kompetensförsörjningen inom kärnkraft är viktig för att kunna upprätthålla livskraftiga forskningsmiljöer. Kompetensförsörjningsutmaningen för kärnkraften har flera aspekter. Medan den svenska kärnkraftsforskningen i sig krävs för att upprätthålla utbildningarna och därmed kompetensförsörjningen, visar kartläggningen att bristande kompetens och humankapital är ett av de största behoven även för att stärka forskningen. Enligt både svenska och internationella respondenter står den svenska kärnkraftsforskningen sig, inom många områden, starkt i internationell jämförelse, vilket skapar ett inflöde av duktiga studenter och forskare från utlandet. Samtidigt upplever både akademien och verksamheterna utmaningar med sin kompetensförsörjning, vilket de kopplar till områdets bristande attraktivitet bland unga som inte betraktar området som en framtidsbransch för just Sverige.²⁷ För att Sverige även i framtiden ska kunna upprätthålla sina forskningsmiljöer är utmaningen med att främja attraktiviteten därför viktig.

4.5.1 Ökande utmaningar med kompetensförsörjningen

Många respondenter inom denna kartläggning har framhåvt kompetensförsörjningen som en nyckelutmaning som måste bemötas för att Sverige dels ska kunna fortsätta hålla hög kvalitet i sin forskning, dels leva upp till sina internationella åtaganden om att upprätthålla kompetens.²⁸ Problematiken har även tidigare framhävts av SSM i deras regeringsuppdrag om långsiktig kompetensförsörjning inom strålsäkerhet.²⁹

Flera verksamheter i denna kartläggning upplever utmaningar med sin kompetensförsörjning och ser en stor risk att utmaningarna kommer att öka. Dels anser de att det finns för lite utbildning inom frågorna i Sverige. Få studenter utbildas årligen genom programmen på Uppsala universitet och KTH. Kärntekniska och -fysiska kurser är dessutom sällan

²⁷ SSM (2018) *Grunden för en långsiktig kompetensförsörjning inom strålsäkerhetsområdet*. Utredningsrapport. SSM2017-134

²⁸ IAEA (2016) *Integrated Regulatory Review Service (IRRS) Follow-up Mission to Sweden*. Stockholm, Sweden 25 April – 3 May 2016. IAEA-NS-2016/05

²⁹ SSM (2018) *Grunden för en långsiktig kompetensförsörjning inom strålsäkerhetsområdet*. Utredningsrapport. SSM2017-134

obligatoriska för studenter som inte läser specifika program inom ämnesområdet och de valbara kurserna har genomgående ett lågt söktryck. Dels ser verksamheterna – i likhet med andra industrier – att generell industrikompetens även är en bristvara som de måste konkurrera brett om att attrahera till utmanande geografiska lägen.

4.5.2 Risker för forskningens återväxt

Även inom akademien ser kartläggningens respondenter utmaningar framöver. Här finns två huvudsakliga utmaningar. Dels handlar det om svårigheterna med att locka studenter till de specialiserade utbildningarna. Dels handlar det om forskningens återväxt, det vill säga att utbildade studenter väljer att stanna kvar inom den akademiska sfären. Utmaningarna påverkar varandra. Utan duktiga forskare som har tillgång till forskningsfinansiering blir det svårt för universitet att locka studenter. Men utan studenter har universiteten svårt att finansiera och därmed upprätthålla utbildningarna, vilket den nedlagda mastersutbildningen på Chalmers är ett exempel på.³⁰

Det finns även flera aspekter vad gäller områdets attraktivitet för studenter. Generellt upplever få unga kärnkraften som en framtidsbransch. Flera respondenter och analyser³¹ har påpekat att detta kan kopplas till den politiska diskussionen om nedläggning, som sällan framhäver att det kommer att finnas arbetstillfällen inom branschen i mycket lång tid framöver, oavsett om avvecklingen kommer att ske som planerat.

En annan aspekt är kopplad till återväxten av forskare. Den handlar om den forskning som bedrivs och hur intressant den är för att locka potentiella doktorander. Flera forskare framhäver exempelvis att forskning på framtidens kärnkraftsteknik är något som lockar nya studenter och doktorander till fältet och så småningom kan skapa nya experter. För att Sverige ska kunna hävda sig i den internationella konkurrensen om doktorander tyder kartläggningen på att åtminstone delar av forskningen bör ha ett tydligt framtidsperspektiv. Medan framtidsperspektivet är tydligt i de nyliga satsningarna från VR och SSF prioriterar SSM och SKC, som står för den största delen av forskningsfinansieringen, snarare frågor rörande långtidsdrift.

En tredje aspekt är hur områdets attraktivitet är särskilt låg bland svenska studenter. De utbildningsprogram som har internationell profil har genomgående många sökande totalt sett, men mycket få av dessa är svenska. Även om internationella studenter bidrar till att upprätthålla både undervisning och forskning är det utmanande för studenter som inte talar svenska att bli anställda i svenska verksamheter efter examen, då tillståndshavare av säkerhetsskäl inte kan fastanställa utländska medborgare.

När söktrycket till utbildningar är för lågt blir utbildningarna för kostsamma för universiteten att driva och läggs därför ned. Flera verksamheter har påpekat att de upplever att de måste finansiera utbildningar för att kvarhålla dem. Samtidigt har SSM det övergripande ansvaret för kompetensförsörjningen inom strålsäkerhet i Sverige och den fortsatta driften är beroende av att det finns tillräcklig kompetens. Verksamheterna upplever därför att det måste finnas en tydlig diskussion kring vems ansvar det är att upprätthålla utbildningar inom kärnkraft för att på sikt även kunna säkra återväxten av forskare och i vilken mån staten och verksamheter bör dela på det ansvaret.

³⁰ Se avsnitt 2.1.3

³¹ Se t.ex. SOU 2020:9, *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2020*. Rapport av Kärnavfallsrådet.

Bilaga A. Studiens referensgrupp

Namn	Position
Sophie Grape	Docent i fysik med inriktning mot tillämpad kärnfysik vid Uppsala universitet
Christian Ekberg	Professor i kemi och kemiteknik, industriell materialåtervinning och kärnkemi vid Chalmers
Mats Jonsson	Professor i kärnkemi vid KTH
Ane Håkansson	Professor i tillämpad kärnfysik vid Uppsala universitet
Ingmar Persson	Professor i oorganisk och fysikalisk kemi vid Sveriges lantbruksuniversitet

Bilaga B. Respondentlista

Organisation	Respondent	Position	Kategori
Barsebäck	Åsa Carlson	VD, Barsebäck Ledamot i Unipers ledningsgrupp	Verksamhet
Blykalla	Janne Wallenius	VD Blykalla, Professor i Reaktorfysik på KTH	Verksamhet
Chalmers	Christian Ekberg	Professor, Kemi och Kemiteknik, Industriell Materialåtervinning och Kärnkemi.	Akademi
Chalmers	Fredrik Hedenus	Senior forskare, institutionen för rymd-, geo- och miljövetenskap, fysisk resursteori	Akademi
Cyclife Sweden AB	Arne Larsson	VP Technology	Verksamheter
Energiforsk	Monika Adsten	Områdesansvarig kärnkraft, programansvarig vattenkraft	Forskningsfinansiär/ branschorganisation
Energiföretagen	Carl Berglöf	Expert inom kärnkraft och elnätsteknik Enhet: Energisystem	Branschorganisation
Forsmarks Kraftgrupp AB	Peter Wedin	Ansvarig R&D	Verksamheter
Horisont 2020	Mimmi Magnusson	Vinnovas nationella kontaktperson på två områden inom Horisont 2020: för Kärnforskning – Euratom och för Säker, ren och effektiv energi.	Forskningsfinansiär
Horisont 2020	Roger Garbil	DG Research and Innovation, Euratom Research	Internationell forskningsfinansiär
KTH	Pål Efsing	Adjungerad Professor in Mate- rials Mechanics på KTH, Senior Specialist in Fracture and Materials Mechanics på Ringhals	Akademi
KTH	Pär Olsson	Avdelningschef för Kärnenergiteknik	Akademi
Kungliga Vetenskaps-akademien/ Lunds universitet	Joakim Cederkäll	Sekreterare i Nationalkommittén för fysik, professor vid avdelningen för kärnfysik vid LU	Privat forsknings- finansiär
Kärnkraftssäkerhet och utbildning AB,	Maria Skogqvist	Chef för innovation & stöd, affärs- utveckling samt tf. chef utbildning Forsmark	Verksamhet
Nordforsk	Kyösti Lempa	Research funding specialist och kontaktperson för samarbetsprogrammet Nordic Green Growth Research and Innovation Programme mellan diverse aktörer på nordisk nivå	Internationell forskningsfinansiär
OECD NEA	Tatiana Ivanova	Avdelningschef Division of Nuclear Science	Internationell forskningsfinansiär
Oskarshamn (OKG)	Georg Lagerström	Utredningsingenjör reaktorsäkerhet på OKG, ledamot SKC:s verksamhetsråd	Verksamhet

Organisation	Respondent	Position	Kategori
Ringhals AB	Henric Lidberg	R&D Manager	Verksamhet
SAINT	Krister Holmberg	Ordförande, Professor Emeritus i kemi vid Chalmers	Akademi
SKC	Gustaf Löwenhielm	Ordförande, Verksamhetsrådet	Offentlig-privat forskningsfinansier
SKC	Daniel Westlén	Tidigare föreståndare	Offentlig-privat forskningsfinansier
SKC	Merja Pukari	Föreståndare	Forskningsfinansier
Stiftelsen för strategisk forskning	Joakim Amorim	Programchef	Offentlig forskningsfinansier
Strålsäkerhets-myndigheten	Per Seltborg	Forskningschef, fissionsexpert och ordf. i Nämnden för forskningsfrågor	Offentlig forskningsfinansier
Studsvik Nuclear AB	Joakim Lundstöm	President Fuel & Materials Technology and Managing Director	Verksamhet
Svensk kärnbränslehantering AB	Jessica Palmqvist	Avdelningschef FoU	Verksamhet
Uppsala universitet	Michael Österlund	Professor och prefekt vid institutionen för fysik och astronomi	Akademi
Vattenfall	Patrik Fors	Avvecklings- och avfallsexpert	Verksamhet
Vattenfall	Mats Ladeborn	Chef för avdelningen Fleet Development	Verksamhet
Westinghouse	Magnus Limbäck	Expert på materialfrågor inom bränsleområdet	Verksamhet
Westinghouse	Ingemar Jansson	Principle Engineer och ledamot SKC:s verksamhetsråd	Verksamhet
Vetenskapsrådet	Lars Kloo	Huvudsekreterare för Vetenskapsrådet	Offentlig forskningsfinansier

Bilaga C. Intervjuguide

Kunskapssammanställning om forskning och innovation på kärnkraftsområdet i Sverige

Intervjuinformation

Namn	
Position och organisation	
Datum och tid	

Inledning

Energimyndigheten har anlitat Oxford Research för att kartlägga svenska satsningar på forskning och innovation om kärnkraft. I uppdraget ingår att jämföra svensk forskning och innovation med internationella insatser, samt att analysera förutsättningar och möjligheter för svensk forskning och innovation om kärnkraft. Ytterst så ska kartläggningen ge underlag till Energimyndigheten för att kunna analysera och bedöma behovet av kompletterande satsningar på svensk forskning och innovation om kärnkraft.

Intervjun har ett tvådelat syfte. Dels är den en datainsamling för den kartläggande delen av uppdraget. För detta syfte kommer vi ställa frågor om t.ex. vilka forskningsområden inom kärnkraft som ni arbetar inom eller mot, aktuella satsningar, projekt och liknande, samt vilka nätverk ni arbetar inom.

Dels vill vi också få din bild av vilka forskningsområden och teknologier som för tillfället generellt är aktuella eller internationellt intressanta, samt om och hur svensk forskning och utveckling relaterar till dessa.

Som komplement till intervjun tar vi gärna emot eventuella tillgängliga underlag, strategier, sammanställningar eller annan dokumentation som kan fördjupa eller nyansera det vi berör i intervjun.

Dina svar kommer inte redovisas i sig, men informationen från intervjun kommer användas för kartläggningen och för att sammanställa en rapport till Energimyndigheten. Därtill kommer vi övergripande redovisa vilka som bidragit med information till studien.

Strategiska prioriteringar och forsknings- och utvecklingsområden

A. Forskningsfinansiärer

1. Inom vilka forskningsområden finansierar ni för tillfället forskning eller utveckling inom kärnkraft?
2. Vilka aktuella forskningsfrågor inom kärnkraft är prioriterade för er?
 - a. Finns några särskilda applikationsområden eller tekniska utvecklingsfrågor som ni ser som prioriterade?
3. Hur tillämpad är den forskning som finansieras?

Det vill säga, i vilken utsträckning är den mer av grundforskningskaraktär respektive mer av utvecklingskaraktär?

4. Finansierar ni forskning eller utveckling inom några relaterade eller möjliggörande forskningsområden som du ser har bäring på kärnkraft?

Med detta menar vi specifik forskning inom områden som faller utanför kärnkraft och kärnteknik, men där rönen kan ha konsekvenser eller applikationer inom kärnkraftsutvecklingen. Exempel kan vara kärnfysik, strålningsforskning, materialvetenskap, energisystem, eller annat.

B. Akademi

1. Inom vilka forskningsområden bedriver ni för tillfället forskning eller utveckling inom kärnkraft?
2. Vilka aktuella forskningsfrågor inom kärnkraft arbetar ni med?
 - a. Har ni några särskilda prioriteringar avseende aktuella forskningsfrågor?
 - b. Finns några särskilda frågor som är populära och benägna att attrahera forskningsmedel?
 - c. Finns några särskilda applikationsområden eller tekniska utvecklingsfrågor som ni arbetar med?

3. Hur tillämpad är den forskning som bedrivs?

Det vill säga, i vilken utsträckning är den mer av grundforskningskaraktär respektive mer av utvecklingskaraktär?

4. Bedriver ni forskning eller utveckling inom några relaterade eller möjliggörande forskningsområden som du ser har bäring på kärnkraft?

Med detta menar vi specifik forskning inom områden som faller utanför kärnkraft och kärnteknik, men där rönen kan ha konsekvenser eller applikationer inom kärnkraftsutvecklingen. Exempel kan vara kärnfysik, strålningsforskning, materialvetenskap, energisystem, eller annat.

C. Verksamheter

1. Inom vilka forskningsområden bedriver ni för tillfället forskning eller utveckling inom kärnkraft?
2. Vilka aktuella forsknings- och utvecklingsfrågor inom kärnkraft är prioriterade för er?
 - a. Finns några särskilda applikationsområden eller tekniska utvecklingsfrågor som ni arbetar med?

3. Hur tillämpad är den forskning och utveckling som bedrivs?

Det vill säga, i vilken utsträckning är den mer av grundforskningskaraktär respektive mer av utvecklingskaraktär?

4. Bedriver ni forskning eller utveckling inom några relaterade eller möjliggörande forskningsområden som du ser har bäring på kärnkraft?

Med detta menar vi specifik forskning inom områden som faller utanför kärnkraft och kärnteknik, men där rönen kan ha konsekvenser eller applikationer inom kärnkraftsutvecklingen. Exempel kan vara kärnfysik, strålningsforskning, materialvetenskap, energisystem, eller annat.

Projekt, satsningar och resurser

A. Forskningsfinansiärer

1. Vilka utlysningar eller satsningar har ni – eller har nyligen haft – som finansierar pågående forskning inom kärnkraft?
2. Finns några särskilda konkreta projekt, forskargrupper eller liknande som ni för tillfället finansierar?
3. Vilken storlek på medel har ni för forskning och utveckling inom kärnkraft?
 - a. I vilken grad ansöks och fördelas medlen?
4. Har ni några andra resurser eller satsningar inom kärnkraft utöver utlysta forskningsmedel?
 - a. Vilka resurser har ni själva för att bevaka och potentiellt stötta forskning och utveckling inom kärnkraft?
5. Hur har vilka utlysningar ni gör, vilken forskning ni finansierar eller storleken på de medel ni utlyser förändrats eller utvecklats?

B. Akademi

1. Hur omfattande är den kärnkraftsrelaterade forskningen som bedrivs?
 - a. I termer av personal?
 - b. I termer av medel?
2. Vilka konkreta projekt, forskargrupper eller liknande bedriver för tillfället verksamhet?
3. Vilka är er forskningens huvudsakliga finansiärer eller beställare?
4. Vilka resurser i termer av infrastruktur, testanläggningar, laboratorier eller liknande har ni tillgång till?
5. Hur har vilken forskning ni bedriver och vilka resurser ni har förändrats eller utvecklats?

C. Verksamheter

1. Hur omfattande är den kärnkraftsrelaterade forskningen och utvecklingen som bedrivs?
 - a. I termer av personal?
 - b. I termer av medel?
2. Vilka konkreta projekt, forskargrupper eller liknande bedriver för tillfället verksamhet?
3. Finns andra finansiärer eller parter i den forskning och utveckling ni bedriver?
4. Vilka resurser i termer av infrastruktur, testanläggningar, laboratorier eller liknande har ni tillgång till?
5. Hur har vilken forskning ni bedriver och vilka resurser ni har förändrats eller utvecklats?

Nätverk och kontakter

1. Med vilka andra forsknings- eller utvecklingsaktörer (akademi eller andra) har ni för tillfället samarbeten?
2. I vilken mån har samarbeten inom Sverige respektive internationellt?

Generell syn på forsknings- och teknikutvecklingen i Sverige och internationellt

1. Vilka forskningsområden, teknologier eller utvecklingsområden inom kärnkraft ser du som mest intressanta för er att följa i dagsläget...
 - a. ...i Sverige?
 - b. ...internationellt?
2. Vilka konkreta satsningar, projekt eller resurser inom kärnkraft ser du som mest intressanta för er att följa i dagsläget...
 - a. ...i Sverige?
 - b. ...internationellt?
3. Vilken position uppfattar du att svensk forskning och utveckling har i relation till de mest intressanta forskningsområdena just nu?
4. I termer av t.ex. framstående forskning, teknisk utveckling, förmåga att attrahera resurser, m.m., inom dessa områden?

Behov av satsningar framåt

1. Vilka, om några, kompletterande satsningar på svensk forskning och innovation om kärnkraft bedömer du som mest prioriterade?

Dokumentation

1. Finns några underlag, sammanställningar, strategier eller liknande dokumentation som belyser några av de frågor vi diskuterat, som vi kan ta del av?

Bilaga D. Utbildningsdata

KTH: Master i kärnenergiteknik

KTH bedriver ett masterprogram inom kärnenergiteknik. Programmet utmärker sig genom att ha ett högt söktryck. 2020 utgjorde internationella studenter 95 procent av de totala sökande och 94 procent av de som sökte programmet som förstahandsval. Denna trend speglar de senaste fem åren; sedan 2015 har över 90 procent av de som söker programmet varit internationella studenter. Programmets popularitet har varierat från år till år, utan synliga trender.

KTH, Masterprogram i Kärnenergiteknik, sökande 2015–2020 (antal)				
	Totalt sökande	1:a hand	Internationella	Int. 1:a-hand
HT 2015	93	45	87	43
HT 2016	127	48	113	45
HT 2017	180	74	163	69
HT 2018	127	52	116	49
HT 2019	104	47	96	45
HT 2020	168	95	159	89

Uppsala universitet: Master i kärn- och partikelfysik

På Uppsala universitet erbjuds ett mastersprogram i kärn- och partikelfysik. Programmets popularitet varierar från år till år, men genomgående finns ett högt söktryck till programmet. Särskilt 2018 och 2020 utmärker sig som år med många sökande. 2020 var 91 procent av ansökningarna internationella, en andel som ökat från cirka 80 procent de föregående åren.

Uppsala universitet, Masterprogram i fysik, kärn- och partikelfysik, sökande 2015–2020				
	Totalt sökande	1:a hand	Internationella	Int. 1:a-hand
HT 2015	43	20	35	18
HT 2016	67	21	52	14
HT 2017	75	15	62	14
HT 2018	107	32	88	25
HT 2019	58	21	52	19
HT 2020	108	27	98	24

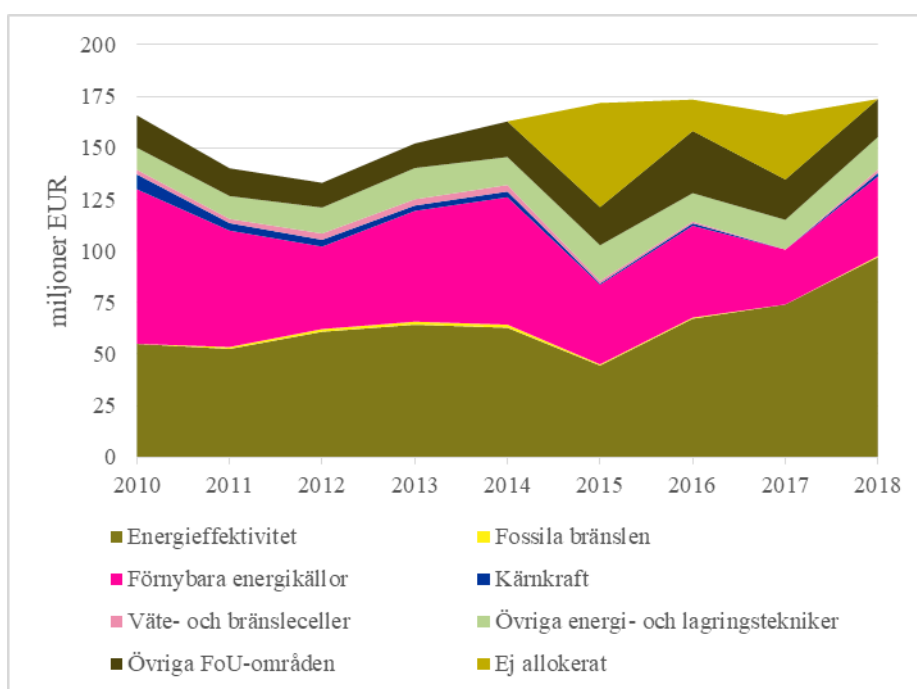
Uppsala universitet: Högskoleingenjörsprogram i kärnkraftteknik

Förutom mastersprogrammen bedriver Uppsala universitet ett Högskoleingenjörsprogrammet på grundläggande nivå. Programmet stöds av Vattenfall och sattes på paus efter vikande studenttillströmning 2016, för att sedan återupptas 2019. I motsats till masterprogrammen har högskoleingenjörsprogrammet ingen tradition av internationella studenter.

Uppsala universitet, Högskoleingenjörsprogrammet i kärnkraftteknik, sökande 2015–2020				
	Totalt sökande	1:a hand	Internationella	Int. 1:a-hand
HT 2015	64	16	1	1
HT 2016	38	7	0	0
HT 2017	n/a	n/a	n/a	n/a
HT 2018	n/a	n/a	n/a	n/a
HT 2019	29	12	0	0
HT 2020	44	15	1	0

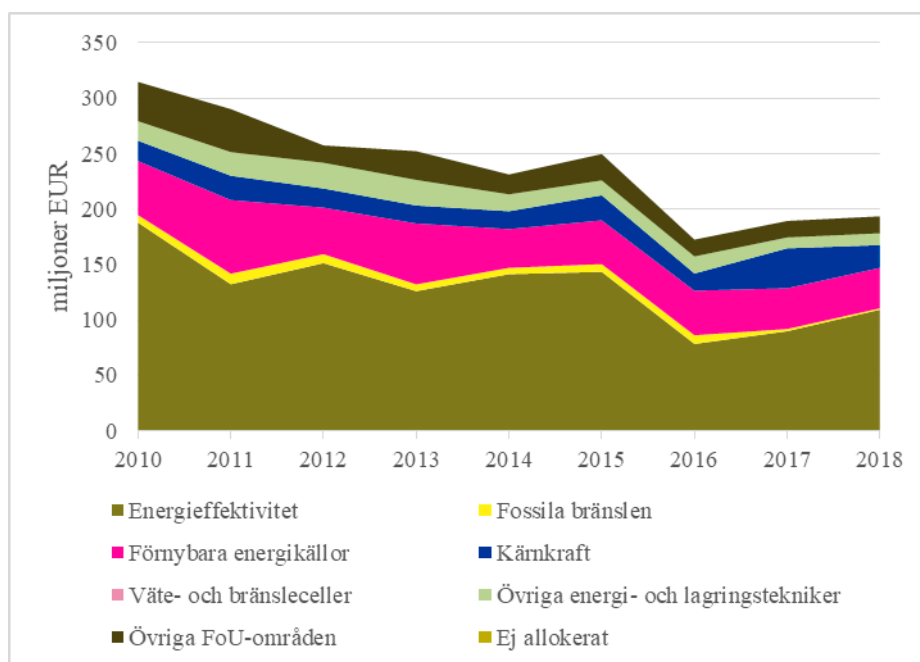
Bilaga E. Finansiering av energiforskning³²

Figur E 1. Total finansiering av olika områden inom energiforskningen i Sverige 2010–2018 (2019-priser och valutakurser) enligt IEA:s sammanställning.



³² Källa: IEA (2020) Energy Technology RD&D (2020 early edition). Detailed Country RD&D Budgets. < <http://wds.iea.org/WDS/TableView/dimView.aspx?ReportId=1399>>.

Figur E 2. Total finansiering av olika områden inom energiforskningen i Finland 2010–2018 (2019-priser och valutakurser) enligt IEA:s sammanställning.



Bilaga F. Vidare läsning om framtidens kärnkraft

Energiforsk (2019). *Small Modular Reactors*. Report 2019:625. Tillgänglig på <<https://energiforsk.se/media/27298/small-modular-reactors-energiforskrapport-2019-625.pdf>>

Locatelli, G., Mancini, M., Todeschini, N. (2013). “Generation IV nuclear reactors: Current status and future prospects” *Energy Policy*. Vol. 61, pp.1503–1520

Pioro, I. (ed.) (2016). *Handbook of Generation IV Nuclear Reactors*. Woodhead Publishing

Strålsäkerhetsmyndigheten (2013). *Fjärde generationens reaktorer – en analys med fokus på icke-spridning och exportkontroll*. Rapportnummer 2013:18. Tillgänglig på <<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/4eb7e2bdfe2340af8a6ad00c5a73b79c/201318-fjarde-generationens-reaktorer--en-analys-med-fokus-pa-icke-spridning-och-exportkontroll->>>

Uppsala Universitet (2013). *Svensk elförsörjning i framtiden – en fråga med globala dimensioner. En tvärvetenskaplig rapport från Uppsala Universitet*. Tillgänglig på <<https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:752144/FULLTEXT01.pdf>>



Hållbar energi för alla

Energimyndigheten leder samhällets omställning till ett hållbart energisystem.

Vi bidrar med fakta, kunskap och analyser om tillförsel och användning av energi i samhället, och arbetar för en trygg energiförsörjning.

Forskning om framtidens fordon och bränslen, förnybara energikällor och smarta elnät får stöd av oss. Vi stöttar också affärsutveckling som gör det möjligt att kommersialisera innovationer och ny teknik, och ser till att goda lösningar kan exporteras.

Vi ansvarar för Sveriges officiella statistik på energiområdet, och hanterar elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter.

Dessutom deltar vi i internationella klimatsamarbeten, och förmedlar fakta om effektivare energianvändning till hushåll, företag och myndigheter.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Telefon 016-544 20 00, Fax 016-544 20 99
E-post registrator@energimyndigheten.se
www.energimyndigheten.se