



UPPSALA
UNIVERSITET

ISRN UTH-INGUTB-EX-KKI-2025/012-SE

Examensarbete 15 hp
Augusti 2025

Implementering av Små Modulära Reaktorer i Sverige

En kvalitativ studie av drivkrafter och barriärer ur
ett aktörsperspektiv

Alhussein Alwazir
Jakob Abdulhussain

Högskoleingenjörsprogrammet i kärnkraftteknik
Bachelor's Programme in Nuclear Engineering

Användning av AI

I denna studie har vi använt AI-verktyg som stöd genom hela forskningsprocessen, i enlighet med Uppsala universitets etiska riktlinjer. Ingen AI-genererad text har inkluderats i själva studien; allt innehåll är författat av oss själva. Vår användning av AI har främst syftat till att effektivisera planering, organisering och språklig granskning. AI användes initialt för att strukturera projektet, dela upp arbetet i hanterbara faser och föreslå effektiva arbetsflöden. Vidare gav AI stöd i att utveckla sökstrategier, hitta relevanta sökord samt identifiera och hitta nya vetenskapliga artiklar under litteratursökningen. Detta förbättrade projektets tidsplanering, fokus och översikt. Under skrivprocessen använde vi även AI för att kontrollera grammatik samt granska språk, akademisk ton och struktur mellan uppsatsens olika delar. Sammanfattningsvis har AI fungerat som ett värdefullt stödverktyg som har kompletterat vårt eget oberoende tänkande, forskningsarbete och akademiska omdöme. All AI-användning har skett kritiskt och reflekterat, med syfte att höja kvaliteten och tydligheten i vårt arbete.



UPPSALA
UNIVERSITET

Abstract

Implementation of Small Modular Reactors in Sweden

Faculty of Technology

Visiting address:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1

Postal address:
Box 536
751 21 Uppsala

Telephone:
+46 (0)18 – 471 30 03

Telefax:
+46 (0)18 – 471 30 00

Web page:
<http://www.teknik.uu.se/education/>

Alhussein Alwazir & Jakob Abdulhussain

This study aims to investigate and deepen the understanding of how different actors in Sweden perceive the drivers and barriers influencing the implementation of Small Modular Reactors (SMRs). A qualitative approach using semi-structured interviews was applied to collect empirical data from representatives in industry and academia. The interview material was analyzed through thematic analysis following Braun and Clarke's (2006) framework.

The results reveal that the most significant drivers for SMR implementation, as perceived by stakeholders, include technical factors such as system integration flexibility, enhanced safety features, modularity, and standardization, all of which facilitate construction and deployment. Economically, SMRs are seen to offer reduced financial risks, improved cash flows, and increased siting flexibility, helping to avoid high transmission costs. Political and strategic drivers include a more favorable regulatory climate and opportunities for Sweden to strengthen its position internationally. Societal drivers, such as growing public acceptance, local support, and positive opportunities for municipalities, are also highlighted as crucial.

In contrast, key barriers identified relate to technical challenges (fuel and waste management, supply chains, scalability, and grid integration), economic obstacles (loss of economies of scale, high fixed costs, uncertainties in serial production and business models), and political barriers (complex regulations, prolonged permitting processes, and an uncertain investment climate). Societal challenges include a shortage of skilled personnel, inadequate communication, and low cultural acceptance.

The findings provide an actor-centered perspective on SMR, an approach often lacking in previous research, highlighting how technical, economic, political, and societal factors interact. The qualitative methodology yields nuanced insights into stakeholder perspectives. For policymakers, the results underscore the need for stable long-term policies, transparent licensing processes, investments in skills and research, and robust stakeholder collaboration. Overall, the study presents an up-to-date view of key challenges and opportunities in Sweden's SMR landscape and emphasizes the importance of future research with broader actor inclusion.

Keywords: Small Modular Reactors (SMR), implementation, drivers, barriers, energy policy, stakeholder perspectives, thematic analysis, Sweden.

Handledare: Adam Alnaami
Ämnesgranskare: Mattias Lantz
Examinator: Cecilia Gustavsson
ISRN UTH-INGUTB-EX-KKI-2025/012-SE
Tryckt av: Uppsala Universitet

Populärvetenskaplig sammanfattning

Denna studie undersöker vilka faktorer som kan underlätta respektive försvåra införandet av små modulära reaktorer (SMR) i Sverige, en ny form av kärnkraftsteknik med stor potential att bidra till framtidens energisystem. Små modulära reaktorer skiljer sig från traditionella stora kärnkraftverk genom att vara mindre, fabriksstillverkade och möjliga att placera nära användare, vilket ger större flexibilitet och minskade risker.

Genom intervjuer med experter från industrin och akademien har flera viktiga drivkrafter identifierats. Bland annat betonas tekniska fördelar som passiva säkerhetssystem, vilka minskar risken för olyckor, samt möjligheten att anpassa reaktorer efter lokala behov, som fjärrvärme och industriella applikationer. Ekonomiska drivkrafter inkluderar lägre initiala investeringar, mindre finansiella risker och möjligheter till serieproduktion som kan minska kostnaderna över tid.

Politiskt och strategiskt är en förenklad tillståndsprocess och internationell samverkan avgörande faktorer för att göra tekniken attraktiv. Dessutom lyfts samhällliga aspekter fram, som ett ökat intresse och positivare inställning till kärnkraft bland allmänheten och kommuner, vilket kan underlätta lokal acceptans och etablering av SMR.

Samtidigt finns betydande hinder som måste hanteras. Regulatoriska och tekniska utmaningar inkluderar nuvarande regelverk som inte är anpassade för mindre reaktorer, osäkerheter kring hantering av bränsle och avfall, samt behovet av att bygga upp nya leveranskedjor och säkerställa kompetens för drift och underhåll. Ekonomiskt råder osäkerhet kring faktiska kostnader och finansieringsmodeller för SMR-projekt, medan politisk osäkerhet och varierande samhällsacceptans också kan bromsa utvecklingen.

Sammanfattningsvis visar studien att framgångsrik implementering av SMR i Sverige kräver ett helhetsperspektiv, där tekniska lösningar kombineras med tydliga politiska riktlinjer, ekonomiska incitament och aktiv kommunikation för att bygga samhällsstöd. Resultaten kan vägleda politiker, industri och forskare i arbetet med att utveckla och införa denna nya energiteknik.

Förord

Detta examensarbete har genomförts som en del av högskoleingenjörsprogrammet i kärnkraftteknik vid Uppsala universitet.

Först och främst vill vi rikta ett varmt tack till samtliga intervjupersoner som deltog i studien. Er generositet med tid, erfarenheter och insikter har varit helt avgörande för arbetets genomförande och kvalitet. Utan ert engagemang hade denna studie inte varit möjlig.

Stort tack riktas även till Grow Quality AB och särskilt till vår handledare Adam Alnaami för möjligheten att genomföra detta projekt i samarbete med företaget. Ett särskilt tack går även till vår ämnesgranskare, Mattias Lantz, vars akademiska kunnande och konstruktiva återkoppling har varit avgörande för rapportens kvalitet och sammanhang.

Vi vill dessutom framföra vår uppskattning till vår examiner, Cecilia Gustavsson, för hennes stöd och vägledning under arbetets gång. Hennes uppmuntran och relevanta synpunkter har varit ovärderliga för examensarbetets akademiska och professionella utveckling.

Slutligen vill vi tacka Uppsala universitet för en inspirerande akademisk miljö, goda resurser och sitt engagemang för forskning av hög kvalitet. Universitetets stöd och tydliga fokus på etiska principer har utgjort en trygg grund för ett ansvarsfullt och reflekterat genomförande av denna studie.

Uppsala, Juni 2025
Alhussein Alwazir & Jakob Abdulhussain

Arbetsfördelning

Arbetet med denna rapport har präglats av ett nära och jämbördigt samarbete mellan oss. Inledningsvis förde vi gemensamma samtal kring varje kapitels syfte och innehåll, vilket låg till grund för att vi tillsammans kunde skapa detaljerade dispositionsförslag i punktform. Detta arbetssätt säkerställde vår samsyn kring rapportens upplägg och möjliggjorde en genomtänkt arbetsprocess. Under skrivfasen fördelade vi arbetsuppgifterna på ett sätt som gjorde att vi båda aktivt deltog i utarbetandet av samtliga delar. Varje textavsnitt har därefter bearbetats och vidareutvecklats gemensamt, där löpande återkoppling och ömsesidig granskning varit centralt för att upprätthålla enhetlig stil, tydlighet och konsekvent argumentation. Vi bedömer därför att vår arbetsinsats och vårt bidrag till denna rapport är helt likvärdigt, med fullt och aktivt deltagande i samtliga moment. Det nära samarbetet har därmed främjat både kvaliteten på slutresultatet och vår gemensamma lärandeprocess.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problemformulering.....	2
1.3 Syfte och forskningsfråga.....	3
1.4 Avgränsningar.....	3
1.5 Disposition.....	4
2. Litteraturoversikt	5
2.1 Teknologisk översikt av SMR.....	5
2.2. Drivkrafter för implementeringen av SMR.....	6
2.2.1 Teknologiska och tekniska drivkrafter.....	6
2.2.2 Ekonomiska drivkrafter.....	8
2.2.3 Politiska och strategiska drivkrafter.....	11
2.2.4 Samhälleliga drivkrafter.....	12
2.3. Barriärer för implementeringen av SMR.....	13
2.3.1 Teknologiska barriärer.....	13
2.3.2 Ekonomiska barriärer.....	14
2.3.3 Politiska och strategiska barriärer.....	16
2.3.4 Samhälleliga barriärer.....	17
3. Metod	19
3.1 Forskningsansats.....	19
3.2 Forskningsprocessen.....	20
3.3 Datainsamling.....	21
3.3.1 Urval.....	21
3.3.2 Intervju.....	21
3.4 Dataanalys.....	23
3.4.1 Tematiskt analys.....	23
3.5 Etiska överväganden.....	25
3.6 Datakvalitet.....	25
4. Empiriska Resultat	28
4.1. Drivkrafter för implementering av SMR i Sverige.....	28
4.1.1 Tekniska drivkrafter.....	29
4.1.2 Ekonomiska drivkrafter.....	31
4.1.3 Politiska och strategiska drivkrafter.....	33
4.1.4 Samhälleliga drivkrafter.....	35
4.2. Barriärer för implementering av SMR i Sverige.....	37
4.2.1. Tekniska barriärer.....	38
4.2.2. Ekonomiska barriärer.....	41
4.2.3 Politiska och strategiska barriärer.....	44
4.2.4 Samhälleliga barriärer.....	47
5. Diskussion	50
5.1 Vilka drivkrafter uppfattas som betydelsefulla för att främja implementeringen av SMR i Sverige?.....	50

5.1.1 Tekniska drivkrafter	51
5.1.2 Ekonomiska drivkrafter	52
5.1.3 Politiska, strategiska och samhällliga drivkrafter	53
5.2 Vilka barriärer uppfattas som är kritiska för att försvåra implementeringen av SMR i Sverige? 55	
5.2.1 Tekniska barriärer	56
5.2.2 Ekonomiska barriärer	57
5.2.3 Politiska, strategiska och samhällliga barriärer	58
5.3 Metodreflektion	60
6. Slutsats	62
6.1 Vetenskapliga och praktiska implikationer	62
6.1.1 Teoretiska implikationer.....	62
6.1.2 Praktiska implikationer	63
6.2 Förslag på framtida forskning	63
Referenslista	65
Bilaga A. Intervjuguide	i

Figurförteckning:

Figur 1: Illustration av SMR-produktion och installation (WSP, 2023).....	7
Figur 2: Jämförelse mellan kostnadsreducerande faktorer för SMR och skalfördelar hos stora reaktorer (WSP, 2023).	9
Figur 3: Forskningsprocessens huvudsteg: förstudie, problemformulering, litteraturöversikt, datainsamling, analys samt diskussion och slutsatser. Pilarna visar arbetsgången och att processen delvis varit iterativ (Skapad av författarna)	20
Figur 4: Tematisk analys. (Skapad av författarna)	25

Tabellförteckning:

Tabell 1: Sammanställning av intervjuer med intressenter (Sammanställd av författarna). ...	23
Tabell 2: Översikt över identifierade drivkrafter för implementering av SMR i Sverige (Sammanställd av författarna).....	28
Tabell 3: Översikt över identifierade barriärer för implementering av SMR i Sverige. (Sammanställd av författarna).....	37
Tabell 4: Identifierade drivkrafter för implementering av SMR i Sverige (Sammanställd av författarna)	50
Tabell 5: Identifierade barriärer för implementering av SMR i Sverige (Sammanställd av författarna)	55

Förkortningar

Academic-industrial Nuclear technology Initiative to Achieve a sustainable energy future – **(ANITA)**

Core Makeup Tanks – **(CMT)**

Drift- och underhållskostnader / Operation and Maintenance – **(O&M)**

Emergency Heat Removal System – **(EHRS)**

External Bypass Tubes – **(EBT)**

First-Of-A-Kind – **(FOAK)**

High Assay Low Enriched Uranium – **(HALEU)**

Integral Pressurized Water Reactor – **(IPWR)**

Integral Test Facilities – **(ITF)**

Internationella atomenergiorganet / International Atomic Energy Agency – **(IAEA)**

Kokvattenreaktorer / Boiling Water Reactors – **(BWR)**

Large Reactors – **(LR)**

Levelized Cost of Electricity – **(LCOE)**

Nuclear Harmonization and Standardization Initiative – **(NHSI)**

Nth-Of-A-Kind – **(NOAK)**

Outside Containment Pools – **(OCP)**

Safety Critical Instrumentation Systems – **(SCIS)**

Små modulära reaktorer / Small Modular Reactors – **(SMR)**

Tryckvattenreaktorer / Pressurized Water Reactors – **(PWR)**

Ultimate Heat Sink – **(UHS)**

1. Inledning

Den globala energiomställningen kräver nya lösningar för att möta framtidens behov av stabil och fossilfri elproduktion. Ett av de alternativ som nu diskuteras alltmer är små modulära reaktorer (SMR). Nedan följer först en bakgrund till energiomställningen och SMR-teknikens framväxt, därefter en problemformulering, studiens syfte och forskningsfråga, samt de avgränsningar som gjorts för att avgränsa studiens fokus. Kapitlets avslutande del presenterar rapportens disposition.

1.1 Bakgrund

Klimatförändringar utgör en av de mest akuta utmaningarna för det globala samhället i modern tid. Under de senaste decennierna har ökande växthusgasutsläpp, stigande havsnivåer och globala temperaturhöjningar tydligt visat på effekterna av ohållbara mänskliga aktiviteter (IPCC, 2023). För att begränsa den globala uppvärmningen till under två grader enligt Parisavtalet från 2015, måste världens länder snabbt minska sina utsläpp av växthusgaser (Naturvårdsverket, u.å.). Inom detta sammanhang spelar energisektorn en avgörande roll, då den står för cirka 34 % av de globala utsläppen (Lamb et al., 2021).

Sverige har länge positionerat sig som en föregångare i klimatarbete och har satt målet att bli ett klimatneutralt samhälle senast år 2045 (Energiföretagen, 2023). Landets nuvarande elproduktion är redan till stor del fossilfri tack vare vattenkraft, kärnkraft och växande satsningar på vindkraft (Energiföretagen, 2025). Trots detta visar prognoser från Statens energimyndighet att Sveriges elbehov kommer att öka dramatiskt de kommande decennierna från cirka 170 TWh år 2022 till uppemot 330 TWh till år 2045. Denna ökning beror bland annat på elektrifiering av transportsektorn och elintensiv industriproduktion, särskilt i norra Sverige (Energiföretagen, 2023).

Elektrifieringen innebär en snabb omställning bort från fossila bränslen, men ställer samtidigt nya krav på elnät, produktionskapacitet och kraftslagens balansförmåga (Energimarknadsinspektionen, 2020). Vattenkraften är redan till stor del utbyggd och solkraftens intermittenta natur gör den mindre tillförlitlig i ett nordligt klimat. Vindkraft är en viktig komponent i den gröna omställningen, men den är också beroende av väderförhållanden och kräver omfattande investeringar i nätinfrastuktur (Vattenfall, u.å.). I detta läge har kärnkraften återigen fått ökad uppmärksamhet som ett stabilt, fossilfritt och planerbart kraftslag (Regeringskansliet, u.å.).

Sverige har sedan 1970-talet använt kärnkraft i stor skala (Lejestränd, A., 2023). I dagsläget finns sex reaktorer i drift: tre kokvattenreaktorer (BWR) i Forsmark, två tryckvattenreaktorer (PWR) i Ringhals och en BWR i Oskarshamn (Västra Götalandsregionen, 2023). Tidigare begränsades ny kärnkraftsutbyggnad av lagstiftning, men under 2023 upphävdes lagen som förhindrade fler nya reaktorer än tidigare tillåtna, vilket öppnat för en ny våg av kärnkraftsprojekt (Regeringen, 2023).

Samtidigt pågår ett intensivt teknologiskt skifte inom kärnkraftssektorn där SMR lyfts fram som ett framtidens alternativ (Västra Götalandsregionen, 2023). Enligt IAEA (2021) definieras SMR som avancerade kärnreaktorer med en maximal kapacitet på 300 MWe per modul, designade för fabrikstillverkning och modulär installation. IAEA (2021) framhåller flera potentiella fördelar jämfört med traditionella reaktorer, inklusive lägre initiala investeringskostnader, kortare byggtid, bättre anpassningsförmåga till lokala förhållanden och möjlighet till placering nära konsumtionsområden.

Håkansson (2024) beskriver SMR som ett svar på Sveriges behov av tillförlitlig och flexibel elproduktion, och konstaterar att intresset för SMR i Sverige ökat i takt med energikriser och elprisvolatilitet. Flera aktörer, inklusive universitet och industri, har samlats i projektet ANItA för att utvärdera SMR som en möjlig framtida energilösning (Håkansson, 2024). En annan studie lyfter att SMR ses som ett sätt att möta Sveriges behov av pålitlig elproduktion och stabila priser, särskilt i ljuset av utmaningar med nätkapacitet och behov av fossilfri kraftproduktion (Krayem & Thorin, 2024).

Trots dess potential möter SMR-tekniken också utmaningar. Dessa inkluderar osäkerheter kring regulatorisk anpassning, kostnadsbild, avfallshantering samt allmänhetens acceptans av kärnkraft som helhet (Håkansson, 2024; Krayem & Thorin, 2024; Yıldırım et al., 2024; Van Hee et al., 2024). Erfarenheterna från tidigare kärnkraftsprojekt visar att teknikens komplexitet och kapitalintensitet ofta medför långa tillståndsprocesser och politisk osäkerhet (Cooper, 2014).

1.2 Problemformulering

I takt med att Sverige intensifierar omställningen till ett fossilfritt energisystem växer behovet av att elektrifiera stora delar av samhället. För att uppnå klimatmålet om nettonollutsläpp till år 2045 behöver elproduktionen enligt flera prognoser fördubblas, samtidigt som elförsörjningen måste vara både fossilfri och planerbar. Detta har bidragit till ett förnyat intresse för SMR som ett potentiellt komplement till befintlig elproduktion. Tekniken lyfts ofta fram som ett alternativ med hög flexibilitet, kortare byggtider och möjlighet att bidra till stabil elproduktion i ett framtida mer decentraliserat elsystem (Ricotti & Fomin, 2020; Demianiuk, 2020)

Samtidigt visar internationell forskning att implementeringen av SMR-teknik är förknippad med betydande utmaningar. Mignacca et al. (2020) konstaterar att trots över två decenniers forskning och intresse har investeringarna i SMR varit mycket begränsade, framför allt till följd av höga kapitalkostnader, regulatorisk osäkerhet, bristande leverantörskedjor och begränsad politisk uppbackning. Likaså framhåller andra studier att osäker ekonomisk lönsamhet, komplexa licensieringsprocesser samt varierande grad av samhällsacceptans utgör betydande barriärer (Shobeiri et al., 2023; Amin et al., 2024; Sam et al., 2023).

Tidigare forskning har huvudsakligen fokuserat på tekniska och ekonomiska aspekter av SMR-tekniken. Däremot saknas i hög grad en systematisk förståelse för hur olika samhällsaktörer i

svensk kontext uppfattar SMR-teknikens möjligheter och hinder. Detta är anmärkningsvärt eftersom aktörernas inställning spelar en avgörande roll för teknikens genomförbarhet, särskilt i frågor som rör lokalisering, tillståndprocesser och legitimitet (Richter, 2014; Mignacca et al., 2020; Zarębski & Katarzyński, 2023).

Mot denna bakgrund blir det angeläget att undersöka vilka drivkrafter och barriärer olika aktörer i Sverige uppfattar som mest centrala för en eventuell implementering av SMR. En sådan analys är nödvändig för att informera framtida beslutsprocesser och skapa förutsättningar för teknikens legitima och effektiva införande i det svenska energisystemet.

1.3 Syfte och forskningsfråga

Syftet med denna studie är att undersöka och fördjupa förståelsen för hur olika aktörer i Sverige uppfattar drivkrafter och barriärer som påverkar implementeringen av SMR. Genom att kartlägga aktörsspecifika perspektiv syftar studien till att bidra med en fördjupad förståelse för de faktorer som kan underlätta respektive försvåra teknikens framtida införande inom ramen för svensk energipolitik. För att uppnå detta syfte besvaras följande forskningsfrågor:

- **F1:** Vilka drivkrafter uppfattas som betydelsefulla för att främja implementeringen av SMR i Sverige?
- **F2:** Vilka barriärer uppfattas som kritiska för att försvåra implementeringen av SMR i Sverige?

1.4 Avgränsningar

För att undersöka vilka drivkrafter och barriärer som uppfattas centrala för implementeringen av SMR i Sverige fokuserar denna studie på fyra aktörsgrupper med särskilt inflytande över kärnkraftens utveckling: akademi, industri, statliga representanter och civilsamhällesaktörer. Dessa grupper speglar centrala roller inom forskning, teknikutveckling, policyutformning och samhällsdebatt. Avgränsningen baseras på det akademisk-industriella kärnteknikinitiativet ANItA, ett nationellt kompetenscentrum för SMR som etablerades 2021 och blev operativt 2022 (Håkansson, 2024). ANItA utgör en samverkansplattform mellan akademiska partners, industripartners, statliga myndigheter, samt civilsamhällesaktörer. Plattformens bredd gör den till en relevant kontext för att identifiera aktörer med reellt inflytande över svensk SMR-utveckling. Studien exkluderar, privata investerare och allmänheten, eftersom fokus ligger på aktörer med strategiskt eller operativt inflytande på nationell nivå, studien avgränsas således till den svenska kontexten.

Datansamlingen sker genom kvalitativa, semistrukturerade intervjuer med representanter från varje aktörsgrupp. Detta möjliggör en fördjupad förståelse för aktörsspecifika perspektiv,

argument och prioriteringar. Genom att kombinera insikter från aktörer med olika roller, mandat och intressen kan studien belysa både tekniska och icke-tekniska faktorer, vilket är avgörande för att besvara forskningsfrågorna om vilka drivkrafter (F1) respektive barriärer (F2) som uppfattas som centrala för SMR-implementering i Sverige.

1.5 Disposition

Denna rapport är indelad i sex kapitel utöver inledningen, vilka tillsammans syftar till att besvara studiens forskningsfrågor och ge en helhetsförståelse för förutsättningarna kring implementeringen av SMR i Sverige:

Kapitel 2 – Litteraturoversikt: Ger en överblick över tidigare forskning om SMR-teknologi med fokus på tekniska egenskaper, identifierade drivkrafter och barriärer, aktörsperspektiv samt energipolitiska och regulatoriska ramar. Kapitlet syftar till att placera studien i ett existerande forskningslandskap och identifiera kunskapsluckor.

Kapitel 3 – Metod: Redogör för studiens vetenskapliga angreppssätt, datainsamlingsmetod (kvalitativa semistrukturerade intervjuer), urvalsstrategi, analysmetod samt etiska överväganden. Kapitlet motiverar och förankrar valen metodologiskt.

Kapitel 4 – Empiriska Resultat: Sammanfattar aktörernas uppfattningar om de drivkrafterna och barriärerna för SMR-implementering i Sverige, baserat på intervjuer.

Kapitel 5 – Diskussion: Här diskuteras studiens resultat i relation till tidigare forskning och studiens syfte, samt metodens styrkor och begränsningar.

Kapitel 6 – Slutsats: Avslutande slutsatser presenteras, följt av implikationer och rekommendationer för framtida arbete.

2. Litteraturoversikt

Detta kapitel ger en samlad översikt över den vetenskapliga litteraturen som berör SMR, deras tekniska och ekonomiska förutsättningar och utmaningar, samt de politiska, strategiska, samhällseliga och regulatoriska ramar som påverkar teknikens utveckling. Genom att sammanfatta tidigare forskning och aktuella rapporter läggs grunden för att förstå de centrala drivkrafter och hinder som präglar SMR-teknikens framväxt i Sverige och i ett bredare internationellt sammanhang.

2.1 Teknologisk översikt av SMR

SMR definieras av International Atomic Energy Agency (IAEA) som avancerade kärntekniska system med en elproduktionskapacitet om högst 300 MWe per enhet, konstruerade för fabrikstillverkning och transport till slutlig installationsplats (IAEA, 2016). Dessa reaktorer utgör ett alternativ till konventionella storskaliga kärnkraftverk och syftar till att minska komplexiteten, investeringskostnaderna och byggtiden genom modulär design och serietillverkning (Chalkiadakis et al., 2023; Locatelli et al., 2014b). SMR-tekniken är särskilt relevant i regioner med svag elnätinfrastruktur eller där storskaliga investeringar i kärnkraft är politiskt eller ekonomiskt svårmotiverade (Michaelson & Jiang, 2021).

Intresset för SMR har intensifierats i ljuset av internationella klimatmål. Vid FN:s klimatkonferens COP28 i Dubai 2023 betonades kärnkraftens roll i den globala omställningen till nettonollutsläpp, där mer än 20 länder förband sig att tredubbla kärnkraftskapaciteten till 2050 (IAEA, 2024). SMR betraktas som en nyckelteknologi i detta sammanhang, särskilt för att möjliggöra fossilfri värme- och elproduktion i energiintensiva sektorer som industri, transport och byggnader.

De tekniska egenskaperna hos moderna SMR, framför allt av tredje generationen, inkluderar integrerade systemlösningar där centrala komponenter såsom ånggenerator, pressurizer och kylpumpar är inneslutna i reaktorkärlet. Denna konstruktion möjliggör effektiv serietillverkning, förenklar platsinstallation och ökar säkerhetsnivån (Iyer et al., 2014; Lloyd et al., 2021). Många SMR-koncept bygger dessutom på passiva säkerhetssystem som fungerar utan externt elbehov eller mänsklig inblandning, vilket ökar robustheten vid haverisituationer (Chalkiadakis et al., 2023; Cooper, 2014).

SMR utvecklas idag i flera tekniska konfigurationer, inklusive vattenkylda, gaskylda, saltmält- och flytande metallreaktorer samt mikroreaktorer (IAEA, 2024). Denna variation möjliggör anpassning till olika användningsområden såsom industriell värme, vätgasproduktion, fjärrvärme, avsaltning och marina applikationer. Speciellt i Sverige lyfts SMR fram som en lösning för lokal fossilfri baskraft i industriområden med begränsad elnätscapacitet (Singh, 2024).

Flera demonstrationsprojekt är redan i drift, exempelvis HTR-PM i Kina (2023) och Akademik Lomonosov i Ryssland (2020) (IAEA, 2024). I Sverige markerar projektet SEALER-E, som

utvecklas av Blykalla vid OKG:s anläggning i Simpevarp, ett viktigt steg för svensk kärnteknisk innovation. Det handlar dock inte om en fullskalig reaktor, utan om en icke-nukleär testloop som syftar till att undersöka hur olika material, framförallt reaktortankens egenskaper, beter sig i kontakt med smält bly. Byggnationen av denna testanläggning påbörjades officiellt i februari 2025 med stöd från både stat och industri (SVT Nyheter, 2025).

Trots potentialen återstår betydande utmaningar. Globalt är cirka 68 SMR-designer i aktiv utveckling enligt IAEA:s ARIS-databas, men endast ett fåtal har uppnått kommersiell licensiering eller driftsättning. Högre Levelized Cost of Electricity (LCOE) i tidiga stadier och beroendet av storskalig serieproduktion, ofta uppskattat till minst 80 - 100 enheter, är ekonomiska hinder för bred implementering (Schaffrath et al., 2021; Steigerwald et al., 2023).

Vidare kräver flera SMR-koncept användning av så kallat HALEU (High Assay Low Enriched Uranium), det vill säga uran som är anrikat till mellan cirka 5 och 20 procent U-235. Detta är en högre anrikningsgrad än i dagens lättvattenreaktorer (vanligtvis upp till 5 procent), men ligger fortfarande under gränsen för vad som klassas som höganrikat uran (över 20 procent). HALEU produceras för närvarande endast i mycket begränsad kommersiell skala, vilket kan försena utbyggnaden och innebär ett behov av statligt stöd för utveckling av bränslecykler, infrastruktur och avfallshanteringssystem (IAEA, 2024). Här spelar IAEA en viktig roll genom initiativ som *SMR Platform* och *Nuclear Harmonization and Standardization Initiative (NHSI)*, vilka syftar till regulatorisk konvergens och teknisk standardisering globalt. Slutligen breddas intresset för SMR även utanför traditionella energisektorer. Stora teknikbolag såsom Google och Microsoft undersöker möjligheten att använda SMR för att driva datacenter och AI-infrastruktur med kontinuerlig och klimatneutral el, vilket antyder ett växande marknadssegment med hög betalningsvilja för stabil grön energi (IAEA, 2024).

2.2 Drivkrafter för implementeringen av SMR

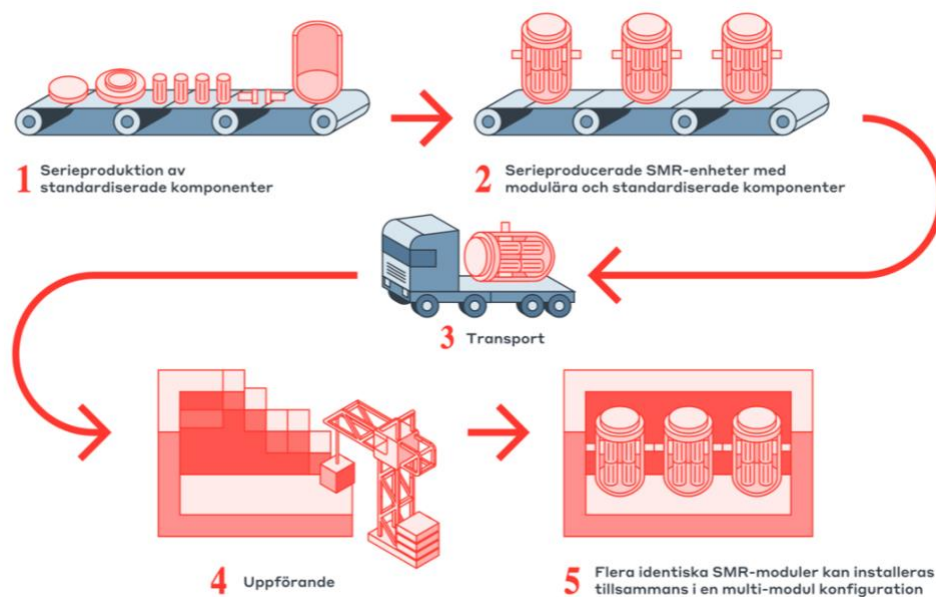
Detta avsnitt sammanfattar de huvudsakliga drivkrafter som i litteraturen lyfts fram som betydelsefulla för utveckling och implementering av SMR. Framställningen utgår från teknologiska, ekonomiska, politiska, strategiska och samhällseliga aspekter, och beskriver hur dessa faktorer enligt tidigare forskning bidrar till ökat intresse och satsningar på SMR, både nationellt och internationellt.

2.2.1 Teknologiska och tekniska drivkrafter

Utvecklingen av SMR drivs i hög grad av ett antal teknologiska och tekniska faktorer som syftar till att förbättra säkerhet, flexibilitet och effektivitet inom kärnkraftssektorn. En av de mest centrala teknologiska drivkrafterna är användningen av en integrerad tryckvattenreaktor (integral Pressurized Water Reactor, iPWR), där centrala komponenter såsom reaktorhärden, ånggenerator och tryckhållare är sammanförda i ett och samma tryckkärl. Denna konstruktion minimerar antalet rörliga delar, förenklar systemintegrationen och ökar den strukturella robustheten (Lewis et al., 2012). En särskilt viktig säkerhetsaspekt är reaktorns förmåga att, vid behov, växla från tvångsflöde till naturlig cirkulation, vilket möjliggör passiv kylning även vid driftstörningar (Lewis et al., 2012; Mascari et al., 2023).

En annan framträdande teknisk drivkraft är användningen av passiva säkerhetssystem. Dessa system är konstruerade för att säkerställa restvärmeavledning och reaktoredstängning utan behov av extern strömförsörjning eller operatörsingripanden. Exempel på sådana system inkluderar Core Makeup Tanks (CMT), som automatiskt tillför kylvatten vid tryckfall, samt Outside Containment Pools (OCP) och Ultimate Heat Sink (UHS), vilka tillsammans möjliggör långvarig kylning genom naturliga fysikaliska processer såsom gravitation och konvektion (Lewis et al., 2012). Tekniker som PERSEO, en poolbaserad värmeväxlare, samt Emergency Heat Removal System (EHRS) och External Bypass Tubes (EBT) är exempel på lösningar som utnyttjar naturlig cirkulation för att förbättra säkerheten under stationära och transienta tillstånd (Mascari et al., 2023).

Den modulära uppbyggnaden av SMR utgör ytterligare en kärnteknologisk egenskap. Till skillnad från konventionella kärnkraftverk, där majoriteten av byggnadsarbetet sker på plats, innebär SMR-design att komponenter tillverkas i fabrik och därefter transporteras till installationsplatsen (U.S. Department of Energy, u.å.). Denna tillverkningsstrategi kan minska byggtid, förbättra kvalitetssäkring och öka förutsägbarheten i projektgenomförandet. Enligt Damayanthi (2024) är den genomsnittliga byggtiden för SMR 3–5 år, vilket är avsevärt kortare än de 6–12 år som är typiskt för traditionella reaktorer, och detta bidrar även till att minska den initiala kapitalbindningen. Modularisering möjliggör också kostnadsbesparingar genom standardiserad serietillverkning, vilket ger lägre enhetskostnader vid storskalig produktion (WSP, 2023), vilket illustreras i **Figur 1**. Den kompakta och integrerade layouten ger dessutom fördelar ur säkerhetsperspektiv, då den underlättar skydd mot yttre hot såsom naturkatastrofer eller avsiktliga angrepp (Mascari et al., 2023).



Figur 1: Illustration av SMR-produktion och installation (WSP, 2023)

En annan fördel är den skalbarhet som SMR-teknologin erbjuder. Genom att flera enheter kan installeras successivt över tid möjliggörs en stegvis utbyggnad av kapaciteten i takt med efterfrågan, vilket minskar investeringsrisken jämfört med storskaliga projekt med höga initiala kapitalkrav (WSP, 2023). Denna strategi kan också underlätta regulatoriska processer, eftersom typgodkända enheter kan omfattas av förenklade licensförfaranden vid upprepad installation.

Styr- och reglersystemen i moderna SMR är ytterligare ett område där teknologisk innovation spelar en central roll. Dessa system bygger på digitalt styrda och redundanta kontrollfunktioner (SCIS, Safety Critical Instrumentation Systems) som ger automatiserad hantering av både säkerhetskritiska och icke-säkerhetskritiska funktioner. Systemen är utformade för att bibehålla driftförmåga även vid strömavbrott, genom batteribackup och pneumatiska mekanismer, vilket stärker anläggningens resiliens vid externa och interna störningar (Lewis et al., 2012). Den nära termohydrauliska kopplingen mellan reaktor och inneslutning i SMR-koncept kräver dock avancerade modellerings- och simuleringsverktyg för att validera systemprestanda, särskilt under transienta förlopp (Mascari et al., 2023).

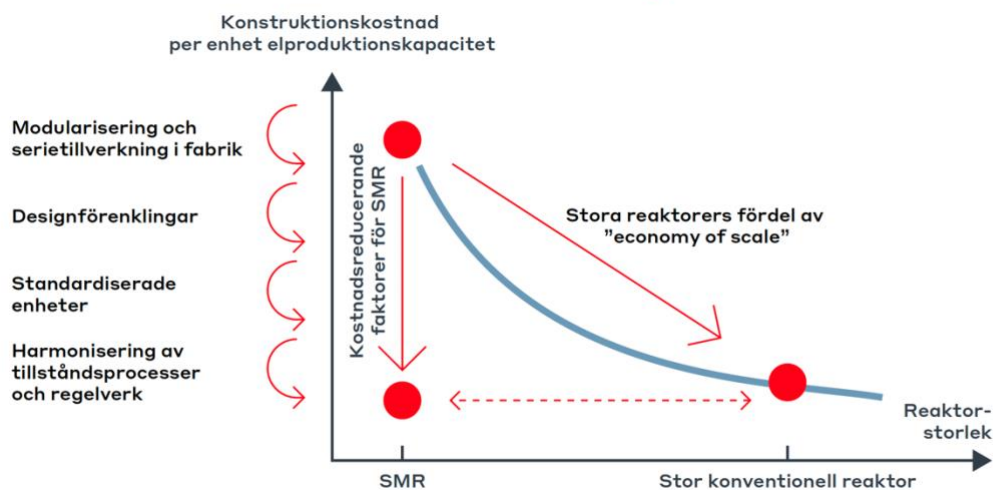
Flera SMR-koncept inkluderar även en design där centrala säkerhetssystem placeras under marknivå. Denna lösning ger ett ytterligare skyddslager mot externa hot, såsom jordbävningar, översvämningar eller sabotage, och förbättrar samtidigt strålskyddet (Lewis et al., 2012). De mindre reaktorhårdorna och den lägre mängden klyvbart material minskar den potentiella effekten vid en olycka, vilket möjliggör en mindre beredskapszon. Detta förenklar valet av anläggningsplats och öppnar för placering i närhet till förbrukare och i tätbefolkade områden (NEA, 2021). Samtidigt utmanar dessa tekniska innovationer befintliga regelverk, vilket kräver både regulatorisk anpassning och ökat internationellt samarbete (NEA, 2021).

Flexibilitet är också en viktig teknisk drivkraft bakom SMR. De mindre fysiska dimensionerna och mindre säkerhetszonerna gör det möjligt att lokalisera anläggningar på platser där traditionell kärnkraft är olämplig, exempelvis vid avvecklade kolkraftverk eller i områden med begränsad infrastruktur (Oğuz, 2024). Den modulära strukturen underlättar också anpassning till varierande efterfrågemönster genom att reaktorenheter kan adderas eller tas ur drift efter behov. Flera modeller är dessutom konstruerade för lastföljning, vilket gör dem väl lämpade som komplement till variabla förnybara energikällor som sol- och vindkraft (WSP, 2023). Utöver elproduktion kan SMR även användas för processvärme, avsaltning, väteproduktion och andra industriella tillämpningar, vilket ytterligare stärker teknikens systemintegration och sektorsövergripande nytta (IAEA, 2022).

2.2.2 Ekonomiska drivkrafter

Utöver tekniska och säkerhetsrelaterade innovationer drivs utvecklingen av SMR i hög grad av ekonomiska faktorer som syftar till att förbättra lönsamhet, minska investeringsrisker och möjliggöra bredare marknadsanpassning. Till skillnad från traditionell kärnkraft, där kostnadseffektivitet historiskt har uppnåtts genom allt större reaktorenheter och skalfördelar

(Zohuri, 2020), bygger SMR på ett nytt ekonomiskt paradigm: economies of multiples. Genom modularisering, standardisering, designförenkling och fabriksstillverkning eftersträvas kostnadsreduktion via serieproduktion av standardiserade moduler (NEA, 2024). Denna modell är inspirerad av högteknologiska industrier såsom flyg- och skeppsindustrin, där upprepad och standardiserad produktion har lett till betydande kostnadsminskningar (NEA, 2021). Som illustrerat i **Figur 2** skiljer sig SMR:s kostnadsstruktur från traditionell kärnkraft genom att istället för skalfördelar förlita sig på modularisering, fabriksstillverkning och designförenkling (WSP, 2023).



Figur 2: Jämförelse mellan kostnadsreducerande faktorer för SMR och skalfördelar hos stora reaktorer (WSP, 2023).

Flera studier visar att upprepad produktion och standardisering kan ge betydande ekonomiska fördelar. Enligt Van Hee et al. (2024) kan direkta kostnader minska med upp till 20 %, och indirekta kostnader, såsom projektledning och osäkerhetsfaktorer, med upp till 50 %. Lärandeffekter kan dessutom ge en genomsnittlig kostnadsminskning på 10 % för varje volymdubbling, förutsatt att minst 30 % av reaktorsystemet tillverkas i fabrik. Effekterna förstärks vid samlokalisering av flera enheter på samma plats, vilket kan sänka kapitalkostnaden per enhet med 10 - 25 % och samtidigt minska framtida avvecklingskostnader med upp till 22 %.

Fabriksstillverkning av centrala komponenter utgör ett nyckelelement i SMR-konceptet. Förutom förbättrad kvalitetskontroll möjliggör denna metod kortare och mer förutsägbara byggtider, vilket minskar räntekostnader och leder till tidigare intäktsflöden. Modularisering kan enligt Van Hee et al. (2024) minska kapitalkostnaderna med 30 - 39 % och reducera byggtiden med upp till två år. För så kallade NOAK-enheter (Nth-Of-A-Kind), dvs, serieproducerade anläggningar där erfarenheter och lärdomar från tidigare byggda enheter har tillämpats för att optimera byggprocessen, uppskattas byggtiden i vissa fall kunna begränsas till tre år.

Designförenkling och användning av passiva säkerhetssystem är ytterligare faktorer som påverkar den ekonomiska attraktiviteten. Genom att ersätta aktiva komponenter, såsom pumpar, med system baserade på naturlig cirkulation kan antalet komponenter minskas och systemtillförlitligheten ökas (NEA, 2021). Detta har uppskattats kunna sänka kapitalkostnaderna med 15 - 17 % (Van Hee et al., 2024). Ytterligare besparingar kan uppnås genom användning av kommersiellt tillgängliga komponenter (COTS), vilket förenklar inköp och stärker tillgången till globala leveranskedjor. Automation och digitalisering av driftfunktioner kan dessutom minska driftkostnader genom reducerat personalbehov, förenklat underhåll och möjlighet till fjärrövervakning (Zohuri, 2023).

SMR erbjuder även ett nytt investeringsparadigm som kan attrahera en bredare investerarkrets. De lägre initiala investeringskostnaderna skapar möjligheter för mindre aktörer, såsom kommunala energibolag eller industriella användare, att delta i kärnkraftsmarknaden. Detta kan i sin tur bredda finansieringsbasen och öka intresset från privata investerare, pensionsfonder och riskkapital (WSP, 2023; NEA, 2021). Den modulära uppbyggnaden möjliggör dessutom gradvis kapacitetsutbyggnad, vilket minskar risken vid kapitalanskaffning och möjliggör anpassning till efterfrågeutveckling över tid (Van Hee et al., 2024).

Den långsiktiga ekonomiska konkurrenskraften för SMR uttrycks ofta genom jämförelser av *Levelized Cost of Electricity* (LCOE). Flera tillverkare uppskattar att NOAK-enheter kan nå ett LCOE i intervallet 40 - 65 USD/MWh, vilket placerar tekniken i nivå med både konventionell kärnkraft och vissa förnybara energikällor (WSP, 2023). I en europeisk kontext varierar det genomsnittliga LCOE för SMR kring 85 €/MWh, med ett intervall mellan 46 och 199 €/MWh beroende på teknisk lösning och geografiska förhållanden (Van Hee et al., 2024).

Förutom elproduktion öppnar SMR för intäktsdiversifiering genom tillämpningar som fjärrvärme, processvärme, vätgasproduktion och avsaltning. Flera reaktorkoncept, såsom BWRX-300 och NuScale VOYGR, är även konstruerade för lastföljning, vilket skapar möjligheter till nya affärsmodeller i energisystem med stor andel variabel elproduktion (WSP, u.å.). SMR lyfts särskilt fram som attraktivt för regioner med hög andel fossila bränslen eller bristande nätinfrastuktur, där teknikens skalbarhet, tillförlitlighet och transportbarhet erbjuder betydande fördelar (NEA, 2024).

Trots att den genomsnittliga kapitalkostnaden per installerad effekt är högre än för konventionella reaktorer, cirka 7031 €/kW eller omkring 41 % högre (Van Hee et al., 2024), är den totala investeringsvolymen lägre. Detta gör tekniken mer tillgänglig för mindre aktörer och minskar den finansiella exponeringen, vilket i förlängningen kan underlätta kommersialiseringen av SMR på en bredare marknad.

Det är dock viktigt att understryka att många av de ekonomiska fördelar som lyfts fram för SMR-teknologin i stor utsträckning bygger på antaganden om storskalig, serieproducerad tillverkning och ett brett intresse från marknaden. Då ingen SMR ännu har byggts i kommersiell skala återstår det att se om dessa förhoppningar kan realiseras i praktiken. Många av de potentiella kostnadsbesparingarna och lärandeffekterna förutsätter att ett stort antal

reaktorer av samma typ byggs och säljs, vilket innebär att efterfrågan och en tillräckligt stor marknad är avgörande för lönsamheten. De ekonomiska utmaningarna och osäkerheterna kring kommersialiseringen av SMR behandlas vidare i avsnitt 2.3.2.

2.2.3 Politiska och strategiska drivkrafter

Utvecklingen av SMR drivs inte enbart av tekniska och ekonomiska förutsättningar, utan i hög grad även av politiska och strategiska överväganden. I Sverige är energipolitiken starkt kopplad till klimatmålen, där ett av de centrala målen är att fördubbla elproduktionen till år 2045 för att möjliggöra en omfattande elektrifiering av samhället (NEA, 2021; Håkansson, 2024). En sådan omställning förutsätter en stabil och planerbar elproduktion som kan komplettera den växande andelen intermittent energi från sol- och vindkraft. Mot denna bakgrund har SMR framträtt som ett politiskt attraktivt alternativ för att öka elproduktionen, minska koldioxidutsläppen och stärka elsystemets stabilitet (WSP, 2023).

Flera politiska initiativ har under de senaste åren fokuserat på att undanröja juridiska hinder för ny kärnkraft i Sverige. Bland de mest betydelsefulla förändringarna märks förslag om att avskaffa begränsningen i miljöbalken som tillåter maximalt tio reaktorer i drift, samt att möjliggöra lokalisering av reaktorer även utanför de platser där kärnkraft redan bedrivs (Krayem & Thorin, 2024; Håkansson, 2024). Dessa förändringar syftar till att skapa mer flexibla förutsättningar för investeringar i SMR-teknologi och speglar ett växande politiskt intresse för att skapa ett robust, fossilfritt elsystem.

SMR betraktas också som ett strategiskt verktyg för att stärka Sveriges energiförsörjning, särskilt i de delar av landet där effektbrist är en växande utmaning. I södra Sverige, där elunderskott och flaskhalsar i överföringskapacitet är särskilt påtagliga, kan lokalisering av SMR nära förbrukningscentra minska överföringsförluster och reducera belastningen på elnätet. Detta bidrar till ökad systemresiliens och kan samtidigt möjliggöra decentraliserade lösningar i linje med ett mer distribuerat energisystem (Håkansson, 2024).

Utöver energiförsörjning utgör SMR en möjlighet för industriell utveckling och kompetensuppbyggnad. Etableringen av forskningscentrumet ANItA är ett exempel på satsningar som syftar till att samla akademi, industri och myndigheter i ett långsiktigt samarbete för att utveckla expertis och innovationskapacitet inom avancerad kärnteknologi (Håkansson, 2024). ANItA förväntas också bidra med kunskapsbaserat beslutsunderlag till politiken och därigenom stärka Sveriges position som en relevant aktör i internationellt kärnkraftssamarbete.

För att möjliggöra en bredare implementering av SMR krävs dock betydande reformer av det regulatoriska ramverket. Nuvarande lagstiftning, särskilt inom miljöbalken, begränsar såväl antalet tillåtna reaktorer som deras geografiska placering. Effektivisering av tillståndsprocesser och anpassning av föreskrifter lyfts därför fram som centrala åtgärder för att undanröja hinder för framtida SMR-projekt (Håkansson, 2024; WSP, 2023).

En annan strategiskt viktig drivkraft är utvecklingen av internationellt harmoniserade regelverk för licensiering. Genom ökat samarbete mellan nationella tillsynsmyndigheter kan gemensamma tekniska standarder och typgodkännanden etableras, vilket minskar behovet av parallella nationella prövningar för redan godkända reaktordesigner (NEA, 2021; Håkansson, 2024). Detta kan inte bara förkorta ledtider och minska kostnader kopplade till certifiering, utan också stärka investerarens förtroende för teknologin. I en svensk kontext bedöms harmonisering ha potential att påskynda tillgången till internationellt etablerade lösningar och samtidigt skapa exportmöjligheter för svensk kärnkraftsexpertis och komponenttillverkning (WSP, 2023).

2.2.4 Samhälleliga drivkrafter

Förutom tekniska, ekonomiska och politiska faktorer spelar samhälleliga aspekter en avgörande roll för möjligheten att implementera SMR i bred skala. Dessa drivkrafter omfattar bland annat allmänhetens inställning till kärnkraft och ny reaktorteknik, upplevd säkerhet, samt lokala och regionala socioekonomiska effekter. I demokratiska samhällen, där opinionen påverkar både policyutformning och tillståndsprocesser, är social acceptans en nödvändig komponent för att säkerställa långsiktig politisk och finansiell legitimitet för SMR-tekniken.

Flera undersökningar visar att det svenska samhället uppvisar en ökande öppenhet för kärnkraft som helhet, inklusive SMR. Enligt en opinionsundersökning från WSP (2023) ansåg 56 procent av de tillfrågade att Sverige bör satsa på att bygga ut kärnkraften. Vad gäller villighet att bo nära ett kärnkraftverk var 31 procent positiva. För SMR specifikt visade 42 procent en positiv inställning, medan endast 22 procent var negativa och 36 procent neutrala. Dessa siffror antyder att det finns en relativt god grund för samhällelig acceptans, särskilt i ljuset av ökande krav på stabil och fossilfri elproduktion i klimatkrisens spår.

En annan viktig samhällelig drivkraft utgörs av de potentiella regionala och lokala vinsterna i form av sysselsättning och industriell utveckling. Studier från USA visar att installationen av en typisk 100 MWe SMR, med en investeringskostnad på cirka 500 miljoner USD, kan generera omkring 7 000 arbetstillfällen, 1,3 miljarder USD i försäljning och över 400 miljoner USD i löner, samt 35 miljoner USD i indirekta affärsskatter (U.S. Department of Energy, 2025). Även om dessa siffror är kontextberoende, tyder de på att motsvarande samhällsekonomiska effekter kan realiseras även i Sverige, särskilt i regioner med behov av strukturförändring, nya industrietableringar och högkvalificerad arbetskraft.

SMR-teknikens design bidrar dessutom till att öka den upplevda säkerheten, vilket är en nyckelfaktor för samhällelig legitimitet. SMR är generellt konstruerade med inbyggda säkerhetsfunktioner såsom passiva säkerhetssystem och naturlig cirkulation, samt innehåller mindre mängder kärnbränsle än traditionella reaktorer. Dessa egenskaper reducerar den potentiella konsekvensen vid en olycka och har lett till att evakueringszonerna för SMR generellt bedöms kunna vara mindre än för konventionella anläggningar (NEA, 2021). Detta skapar förutsättningar för placering närmare tätbebyggda områden eller inom redan existerande

industriområden, vilket i sin tur möjliggör lokal elproduktion i anslutning till förbrukare. Genom att minska behovet av omfattande transmissionsinfrastruktur och öka energitillgången i nätmässigt svaga regioner kan detta vidare förstärka den lokala acceptansen.

2.3. Barriärer för implementeringen av SMR

Trots betydande framsteg och ökande intresse för SMR-teknik kvarstår en rad hinder som försvårar bred implementering. Detta avsnitt sammanfattar de viktigaste barriärer som identifierats i litteraturen och som påverkar teknisk utveckling, ekonomisk lönsamhet, politiska förutsättningar och samhällelig acceptans.

2.3.1 Teknologiska barriärer

Trots betydande tekniska framsteg inom SMR kvarstår flera centrala teknologiska utmaningar som kan fördröja eller försvåra bred implementering av tekniken. Dessa barriärer är relevanta både för etablerade SMR-koncept såsom integrerade tryckvattenreaktorer (iPWR) och för mer avancerade system inom generation IV.

En grundläggande teknisk begränsning i iPWR-designen är den integrerade konstruktionen, där reaktorhårdarna, ånggenerator och tryckhållare sammanförs i ett gemensamt tryckkärl. Denna utformning underlättar implementeringen av passiva säkerhetsfunktioner och förenklar den övergripande anläggningslayouten (Lewis et al., 2012). Samtidigt skapar den betydande utmaningar vad gäller drift och underhåll, eftersom de inkapslade komponenterna är svårare att inspektera, reparera och byta ut. Detta ställer höga krav på teknisk kompetens, specialiserad utrustning och noggrant planerade serviceprotokoll.

En annan teknisk barriär gäller kylsystemens prestanda. Många SMR-koncept förlitar sig på torra kylsystem snarare än konventionella våtkylsystem, vilket gör dem attraktiva för installation i vattenknappa eller avlägsna regioner. Dock är den termiska effektiviteten hos torra kylradiatorer känslig för höga omgivningstemperaturer, vilket kan påverka värmeavledningsförmågan och därmed driftsäkerheten (Lewis et al., 2012). Detta begränsar i praktiken möjligheterna till geografisk utplacering och kräver att systemen anpassas efter lokala klimatförhållanden.

Säkerhetsanalys och systemmodellering utgör ytterligare ett tekniskt problemområde. Existerande systemkoder såsom TRACE, RELAP5 och MELCOR har visat sig otillräckliga för att med hög tillförlitlighet modellera passiva säkerhetssystem, utan omfattande kalibrering och experimentell validering. I PERSEO-benchmarkstudien identifierades betydande avvikelser mellan simulerade och experimentella data, vilket belyser brister i nuvarande modellering av termohydraulik och värmeöverföring (Mascari et al., 2023). Eftersom reaktorsystemet och inneslutningen är tätt integrerade i många SMR-designs, krävs simuleringar av hela systemet snarare än enskilda komponenter, vilket ytterligare ökar komplexiteten i haverianalys och validering.

Ett relaterat problem är bristen på storskaliga testanläggningar, så kallade Integral Test Facilities (ITF), som kan leverera nödvändiga empiriska data för att förbättra och validera simuleringsmodeller. Skalningsproblem i befintliga anläggningar försvårar överförbarheten av resultat till fullskaleapplikationer (Mascari et al., 2023). Modelleringen av avancerade komponenter som kompakta spiralvärmväxlare och passiva kylsystem är dessutom fortfarande underutvecklad i de modelleringsverktyg som används inom industrin.

För mer avancerade generation IV-koncept, inklusive natrium-, bly- och gaskylda reaktorer, är de tekniska barriärerna än mer påtagliga. Dessa system befinner sig ofta i tidiga utvecklingsstadier och saknar kommersiella föregångare, vilket innebär både tekniska osäkerheter och höga utvecklingskostnader. Detta skapar ytterligare hinder för investeringsbeslut och ökar kraven på regulatorisk beredskap (NEA, 2021).

Övergången från traditionellt platsbyggda kärnkraftverk till fabriksproducerade SMR medför också behov av omfattande anpassning av befintliga tillverkningsstandarder och kvalitetsrutiner. Eftersom SMR-enheter ofta levereras som färdigbyggda moduler måste standarder och regelverk, som historiskt utformats för platsbyggda system, revideras för att inkludera aspekter som modulintegration, fabriksbaserad kvalitetskontroll och inspektionsmetoder (Wrigley et al., 2019).

Slutligen utgör den begränsade operativa erfarenheten och frånvaron av långtidsdata en väsentlig barriär för säkerhetsbedömning och licensiering. Osäkerhet kring komponentlivslängd, underhållsintervall och långsiktig systemsäkerhet försvårar regulatorisk prövning och påverkar tillsynsmyndigheters förtroende för tekniken (IAEA, 2022). Dessa faktorer betonar vikten av fortsatta tekniska utvecklingsinsatser och internationellt samarbete för att övervinna de kvarstående hinder som fördröjer SMR-teknikens kommersialisering.

2.3.2 Ekonomiska barriärer

Trots de potentiella ekonomiska fördelarna med SMR, såsom lägre initiala investeringskrav och kortare byggtider jämfört med konventionella stora reaktorer (Large Reactors, LR), kvarstår flera betydande ekonomiska hinder som hämmar teknikens kommersiella genomslag. Dessa utmaningar rör bland annat höga uppstartskostnader, osäker investeringsmiljö, begränsad industriell mognad, samt stark konkurrens från billigare och mer etablerade energiteknologier.

En av de mest centrala barriärerna består i de höga initiala kostnaderna för forskning och utveckling, licensiering och uppförande av de första anläggningarna, så kallade First-Of-A-Kind (FOAK) projekt (Mignacca et al., 2020). Först efter att ett tillräckligt antal enheter producerats kan lärandeffekter och serieproduktion bidra till att sänka kostnaderna. Enligt Van Hee et al. (2024) uppgår den genomsnittliga kapitalkostnaden för SMR i Europa till 7031 €/kW, vilket är cirka 41 % högre än motsvarande kostnad för storskaliga reaktorer.

Flera ekonomiska analyser av SMR fokuserar på anläggnings- eller platsnivå, det vill säga på jämförelser mellan enskilda SMR-enheter och konventionella reaktorer av likvärdig kapacitet. Mignacca et al. (2020) menar dock att denna analysnivå riskerar att dölja den övergripande lönsamheten som kan uppnås först på programnivå, där upprepade konstruktioner, standardisering och etablerade leveranskedjor kan generera betydande skalfördelar och kostnadseffektivitet. Författarna hänvisar till det sydkoreanska kärnkraftsprogrammet som exempel på hur långsiktig strategisk planering kan förbättra den ekonomiska hållbarheten.

Investeringsrisk framhålls som den mest betydelsefulla ekonomiska barriären. Frånvaron av referensanläggningar och en mogen leveranskedja skapar stor osäkerhet kring faktiska kostnadsnivåer, tidplaner och teknisk prestanda. Detta föranleder försiktighet bland investerare, även om kapitalinsatsen per enskilt SMR-projekt generellt är lägre än för traditionella kärnkraftverk (Mignacca et al., 2020). Paradoxalt nog uppfattas SMR därför som mer riskfyllda, trots att de i teorin innebär lägre finansiell exponering ("value-at-risk"). För att överbrygga detta gap betonas vikten av statlig medverkan i form av garantier eller offentlig finansiering av FOAK-projekt.

Modularisering utgör en av SMR-teknikens centrala tekniska och ekonomiska fördelar, genom att möjliggöra fabriksproduktion av komponenter, förbättrad kvalitetskontroll samt kortare byggtider. Samtidigt medför modularisering flera utmaningar. Kostnadsbesparingar realiserar främst vid hög modulariseringsgrad, Van Hee et al. (2024) uppskattar att en nivå över 60 % krävs. Därtill kan transportkostnader för fabriksstillverkade komponenter bli betydande, särskilt för större enheter. Uppbyggnaden av en effektiv leveranskedja förutsätter också höga initiala investeringar, vilka endast blir lönsamma vid upprepade och storskalig produktion (Mignacca et al., 2020).

Även möjligheten att återanvända SMR-moduler, exempelvis i samband med avveckling, möter praktiska hinder. Mignacca et al. (2020) visar att den ekonomiska genomförbarheten är osäker, och att faktorer såsom kontaminering, brist på designstandardisering och oförenliga gränssnitt begränsar återanvändningen. Vidare pekar studien på att SMR-projekt, särskilt i FOAK-fasen, kan uppvisa högre drift- och underhållskostnader (O&M) per producerad MWh än storskaliga reaktorer. Detta förklaras av relativt högre personalbehov och avsaknaden av operativa rutiner och lärandeffekter. Om inte samlokalisering fördelar, exempelvis gemensam infrastruktur vid byggande av flera enheter på samma plats, utnyttjas, riskerar även avvecklingskostnaderna per enhet att öka.

Licensiering lyfts fram som en av de mest kritiska institutionella barriärerna för SMR. Enligt Mignacca et al. (2020) kan licensieringsprocessen i vissa fall vara mer tidskrävande än själva uppförandet, vilket direkt motverkar SMR-teknikens affärslogik som bygger på snabb implementering. En särskild utmaning utgörs av att licensieringskostnaden i stort sett är oberoende av reaktorstorlek, vilket resulterar i högre kostnad per installerad kilowatt för SMR jämfört med LR. Många nationella tillsynsmyndigheter saknar dessutom kapacitet att hantera nya och ofta mer komplexa SMR-teknologier, särskilt icke-lättvattenreaktorer, vilket ytterligare ökar regulatorisk osäkerhet. Artikeln pekar även på ett glapp mellan fabriksbaserad

tillverkning och platsbaserad licensiering, där komponenter som redan certifierats i fabrik ibland måste omcertifieras efter transport och installation. Slutligen står SMR inför stark konkurrens från billigare energiteknologier. Subventionerade förnybara energikällor och tillgång till billig naturgas innebär att många elproducenter ser lägre investeringsrisk och snabbare avkastning i dessa alternativ (Mignacca et al., 2020). Det faktum att dessa teknologier redan är integrerade i befintlig infrastruktur förstärker deras konkurrensfördel ytterligare.

2.3.3 Politiska och strategiska barriärer

Utöver tekniska och ekonomiska hinder utgör politiska och strategiska faktorer en central bromskloss för utvecklingen och implementeringen av SMR. Dessa barriärer omfattar bland annat föråldrad lagstiftning, frånvaro av nationella strategier, bristande politiskt engagemang samt komplexiteten i det internationella regelverkslandskapet. Tillsammans bidrar dessa faktorer till förseningar, ökade transaktionskostnader och osäkerhet längs hela SMR-projektens livscykel.

Ett av de mest grundläggande hindren är att de regulatoriska ramar som tillämpas i många länder, inklusive Sverige, är utformade för storskaliga reaktorer och saknar anpassning till SMR-teknikens särdrag (Sam et al., 2023; Mignacca et al., 2020). Den modulära uppbyggnaden, mindre skalan och fabriksbaserade tillverkningen av SMR förutsätter andra regleringsprinciper än de som traditionellt tillämpats inom kärnkraftssektorn. I den svenska kontexten innebär exempelvis miljöbalkens nuvarande formuleringar, som begränsar antalet tillåtna reaktorer och endast tillåter nyetablering vid befintliga kärnkraftsanläggningar, ett direkt hinder för teknologins geografiska flexibilitet (Håkansson, 2024).

Licensieringsprocesserna utgör ytterligare ett strategiskt hinder. I dagsläget kräver varje SMR-enhet individuell prövning, vilket underminerar möjligheten att realisera stordriftsfördelar genom serieproduktion. Detta innebär inte bara längre handläggningstider utan även högre kostnader, där licensieringskostnaden per installerad kilowatt i vissa fall uppges vara upp till 30 % högre än för traditionella reaktorer (Van Hee et al., 2024). En särskild komplikation är att det ännu saknas tydliga processer för typgodkännande av fabriksproducerade komponenter, vilket försvårar enhetlig och effektiv tillståndshantering (Sam et al., 2023).

En annan återkommande barriär i litteraturen är bristen på starkt politiskt stöd. I frånvaro av offentligt engagemang, exempelvis genom investeringar i FOAK-projekt (First-of-a-Kind) eller genom garantimekanismer, är det svårt att attrahera privat kapital, särskilt i marknadsdrivna elsystem där staten traditionellt spelar en begränsad roll i energiinvesteringar (Mignacca et al., 2020; Van Hee et al., 2024). Denna politiska tveksamhet kan leda till att SMR inte inkluderas i nationella energi- och klimatstrategier, vilket i sin tur påverkar investeringar, kompetensförsörjning och uppbyggnaden av en inhemsk leverantörsstruktur.

Frånvaron av en tydlig och långsiktig nationell strategi för SMR har i flera länder identifierats som ett hinder för teknikens utveckling. Utan tydlig programplanering för hur SMR ska integreras i energisystemet är det svårt att skapa förutsättningar för industriell utveckling och

investerings säkerhet (Sam et al., 2023; Mignacca et al., 2020). I Sverige har denna avsaknad lett till fragmenterade initiativ och oklara ansvarsförhållanden mellan myndigheter, industri och politiska aktörer (Håkansson, 2024).

På internationell nivå utgör den regulatoriska fragmenteringen ett allvarligt hinder för global spridning och kommersialisering av SMR. Varje land har egna säkerhetsnormer och licensieringsförfaranden, vilket kräver kostsamma anpassningar av redan godkända reaktordesigner och därmed försvårar export och import av teknik (Sam et al., 2023). Inom EU accentueras detta ytterligare av medlemsstaternas divergerande syn på kärnkraft, med starkt stöd i exempelvis Frankrike, men uttalat motstånd i länder som Tyskland och Österrike, vilket försvårar gemensamma satsningar och undergräver unionens konkurrenskraft i jämförelse med USA och Kina (Van Hee et al., 2024).

Slutligen bör den geopolitiska dimensionen inte underskattas. Många länder uttrycker oro för att ett teknologiskt beroende av externa aktörer, såsom Ryssland, Kina eller USA, kan få säkerhetspolitiska konsekvenser, särskilt i tider av ökad global instabilitet. Denna oro förstärker vikten av att utveckla en stark nationell industriell bas och av att minska beroendet av externa leverantörskedjor (Van Hee et al., 2024).

2.3.4 Samhälleliga barriärer

Trots att SMR erbjuder flera potentiella fördelar jämfört med konventionell kärnkraft, såsom förbättrad säkerhet, mindre avfallsvolymer och möjligheter till lokal energiproduktion, möter tekniken fortfarande betydande samhälleliga hinder. Dessa utmaningar rör främst allmänhetens uppfattningar om kärnkraft, bristande kunskap om SMR-konceptet, otillräcklig kompetensförsörjning samt avsaknad av inkluderande och transparenta beslutsprocesser. Samhällelig acceptans är därmed inte en passiv följd av teknisk prestanda, utan en avgörande förutsättning för teknikens legitimitet och genomförande.

En av de mest genomgripande barriärerna är den generellt låga acceptansen för kärnkraft i flera europeiska länder. Även bland klimatmedvetna medborgare i exempelvis Frankrike, Tyskland och Storbritannien är inställningen ofta negativ, oberoende av politisk tillhörighet eller utbildningsnivå (Van Hee et al., 2024). Mycket av denna skepsis har sin grund i historiska olyckor såsom Tjernobyl (1986) och Fukushima (2011), vilka har skapat en djupt rotad oro i det kollektiva medvetandet (WSP, 2023; Van Hee et al., 2024). Det är dock viktigt att notera att opinionen och den allmänna politiska inställningen till kärnkraft har blivit mer positiv i flera länder de senaste åren, inte minst till följd av ökad klimatmedvetenhet och behovet av stabil fossilfri elproduktion. Denna oro påverkar inte bara den allmänna opinionen utan också den politiska viljan och därmed legitimiteten i tillståndsprocesser och investeringsbeslut.

Utöver motstånd mot kärnkraft generellt finns ett utbrett kunskapsgap kring SMR-teknologi specifikt. Många medborgare känner inte till skillnaderna mellan traditionella reaktorer och SMR, vilket försvårar förståelsen för teknikens fördelar och riskprofil (Van Hee et al., 2024). Den tekniska komplexiteten gör att risker och möjligheter sällan kommuniceras på ett

lättillgängligt sätt, vilket leder till fortsatt skepsis. För att öka förtroendet krävs därför transparens, proaktiv kommunikation och inkludering av allmänheten i beslutsprocesser, i linje med principerna i Århuskonventionen (NEA, 2021; IAEA, 2023).

Även kompetensförsörjningen utgör en väsentlig samhällelig barriär. I Sverige utbildas idag endast omkring 50 kärnteknikingenjörer per år, vilket är långt ifrån det uppskattade behovet på över 500 (Håkansson, 2024). En stor andel av dessa studenter har dessutom internationell bakgrund och stannar inte nödvändigtvis i landet efter examen, vilket försvårar uppbyggnaden av en långsiktig inhemsk expertis. Kompetensbristen är inte begränsad till tekniker och ingenjörer, utan gäller även myndighetspersonal och beslutsfattare som är centrala för reglering, tillsyn och implementering av SMR (IAEA, 2022).

Samhälleliga barriärer inkluderar också representation och mångfald inom kärntekniksektorn. Den låga andelen kvinnor inom forskning, teknik och beslutsfattande inom kärnkraftsindustrin har identifierats som ett hinder för innovationsförmåga och perspektivbredd. Initiativ som ANItA och Women in Nuclear Sweden har uppmärksammat behovet av ökad inkludering och jämställdhet för att långsiktigt stärka sektorns legitimitet och attraktivitet (Håkansson, 2024).

Trots tekniska framsteg vad gäller avfallshantering kvarstår kärnavfallet som en symboliskt laddad fråga. Många SMR-koncept har potential att minska avfallsvolymen eller använda alternativa bränslen med kortare livscyklar, men dessa lösningar kräver nya förvaringsstrategier och regulatoriska processer (NEA, 2021; Van Hee et al., 2024). Osäkerhet kring långsiktigt ansvar och säkerhet för slutförvar påverkar därmed både opinionen och beslutsfattandet negativt.

Slutligen kan politisk osäkerhet och otydlighet i energidebatten skapa en ogynnsam kontext för SMR. Splittrade politiska signaler riskerar att underminera allmänhetens förtroende och försvåra rekrytering av nya studenter och investerare (Håkansson, 2024). Om allmänheten upplever att deras oro inte tas på allvar, eller att beslutsfattande sker utan tillräcklig insyn, kan detta leda till minskad legitimitet för både tekniken och beslutsprocesserna i stort (IAEA, 2023).

3. Metod

Detta kapitel beskriver de metodologiska val och tillvägagångssätt som använts för att genomföra studien. Inledningsvis redogörs för studiens forskningsansats och den övergripande forskningsprocessen. Därefter presenteras datainsamlingsmetoderna, inklusive urval och genomförande av intervjuer. Slutligen beskrivs den metod som använts för att analysera det insamlade materialet, med särskilt fokus på tematisk analys. Kapitlet avslutas med en redogörelse för etiska överväganden och de åtgärder som vidtagits för att säkerställa hög datakvalitet.

3.1 Forskningsansats

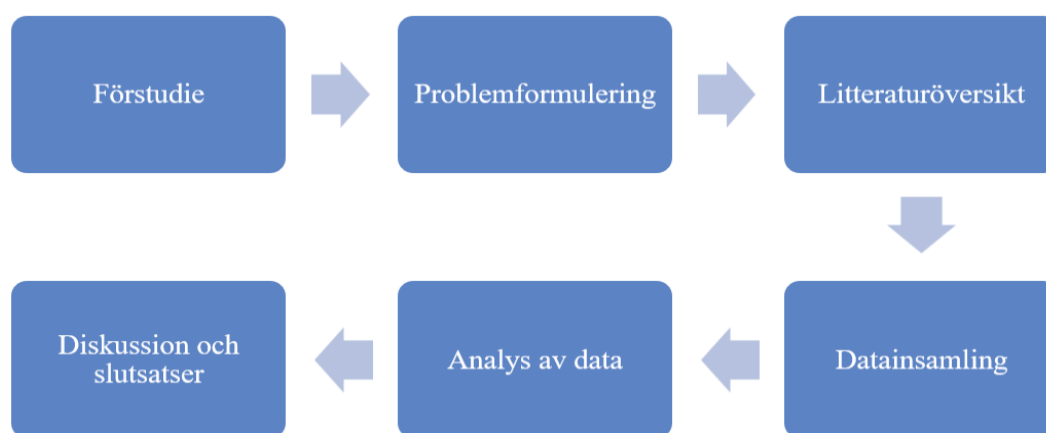
Studien utgick från en interpretivistisk forskningsfilosofi med en konstruktivistisk ontologi, där verkligheten betraktades som socialt konstruerad och föränderlig. Utgångspunkten var att verkligheten inte är objektiv och entydig, utan formas av människors erfarenheter, upplevelser och tolkningar. Detta perspektiv var särskilt relevant då syftet var att förstå hur olika aktörer inom svensk energisektor uppfattade och tolkade drivkrafter och barriärer för implementeringen av SMR. I denna kontext anses kunskap om sociala fenomen formas i samspel mellan aktörer, erfarenheter och språk (Bryman et al., 2022). Genom ett interpretivistiskt synsätt möjliggörs en djupare förståelse av de subjektiva betydelser och den komplexitet som aktörerna tillskriver SMR-frågan, samt fångar de nyanser som präglar deras resonemang och värderingar. Detta förhållningssätt ger förutsättningar att utforska de betydelser och tolkningar som aktörerna tillskriver sina erfarenheter och roller i energiomställningen, vilket inte hade varit möjligt genom en strikt kvantitativ eller positivistisk ansats. Mot denna bakgrund valdes en kvalitativ ansats, eftersom ambitionen var att förstå hur aktörer faktiskt resonerar kring SMR, snarare än att mäta generella åsikter i siffror.

En abduktiv forskningsstrategi tillämpades i studien. Den abduktiva ansatsen innebar att forskningsprocessen rörde sig växelvis mellan litteratur och empiri, vilket möjliggjorde att fokus och litteraturval kunde justeras när nya insikter uppstod i materialet (Awuzie & McDermott, 2017). Studien tog sin utgångspunkt i existerande litteratur och forskning om SMR och energisystem, samtidigt som insamlat empiriskt material från intervjuer användes för att nyansera och ompröva tidigare antaganden. Denna strategi var särskilt lämplig för att förstå komplexa och kontextbundna processer där oväntade teman kunde framträda, och bidrog därmed till en mer dynamisk och fördjupad analys av aktörsperspektiven.

Studien tillämpade en tvärsnittsdesign (cross-sectional design), vilket innebar att datainsamlingen genomfördes vid ett specifikt tillfälle för att ge en ögonblicksbild av hur olika aktörer uppfattade drivkrafter och barriärer för implementeringen av SMR i Sverige (Bryman et al., 2022). Denna design valdes eftersom syftet var att fånga uppfattningar och attityder i ett aktuellt skede, snarare än att studera förändringar över tid. Tvärsnittsdesignen möjliggjorde analys och jämförelse av aktörsperspektiv inom samma tidsram och kontext.

3.2 Forskningsprocessen

Forskningsprocessen för denna studie har präglats av en systematisk och iterativ ansats, vilket illustreras i **Figur 3**. Processen inleddes med en förstudie i syfte att erhålla en övergripande förståelse för forskningsområdet samt identifiera relevanta teman, aktörer och kunskapsluckor kopplade till SMR i Sverige. Under denna inledande fas genomfördes orienterande litteratursökningar i akademiska databaser såsom Google Scholar, Scopus och Uppsala universitetsbibliotek. Vidare genomfördes informella samtal med sakkunniga inom energiområdet. Dessa aktiviteter låg till grund för den initiala formuleringen av studiens problemställning.



Figur 3: Forskningsprocessens huvudsteg: förstudie, problemformulering, litteraturöversikt, datainsamling, analys samt diskussion och slutsatser. Pilarna visar arbetsgången och att processen delvis varit iterativ (Skapad av författarna)

Därefter följde en fördjupad analys där forskningsproblemet och studiens syfte preciserades, baserat på de insikter som genererats under förstudien. En tydligt definierad forskningsfråga bedömdes vara avgörande för att vägleda det fortsatta metodologiska arbetet och säkerställa studiens relevans (Mishra & Alok, 2017).

I nästa steg genomfördes en strukturerad litteraturöversikt i syfte att identifiera drivkrafter och barriärer som lyfts fram i tidigare forskning. Urvalet omfattade vetenskapliga artiklar, böcker och rapporter publicerade mellan 2012 och 2024, med tonvikt på nyare publikationer för att spegla det aktuella forskningsläget. Sökningen genomfördes med hjälp av relevanta sökord såsom “small modular reactors”, “SMR implementation”, “barriers”, “energy policy” och “energy transition”. Litteraturen granskades utifrån titel och abstract, och endast källor med tydlig koppling till studiens syfte inkluderades. Den genomförda litteraturöversikten utgjorde ett viktigt underlag för utformningen av intervjuguiden (se Bilaga A).

Datainsamlingen genomfördes därefter i form av semistrukturerade intervjuer med representanter från centrala aktörsgrupper, däribland industri och akademi. Intervjuerna genomfördes digitalt och dokumenterades genom anteckningar och ljudinspelningar, efter att

deltagarnas samtycke inhämtats. Syftet med intervjuerna var att samla in olika aktörers uppfattningar, erfarenheter och reflektioner kring implementeringen av SMR i Sverige.

Efter avslutad datainsamling följde en tematisk analys av intervjumaterialet. Materialet kodades och organiserades i centrala teman för att möjliggöra en identifiering av mönster relaterade till drivkrafter och barriärer i energiomställningen. Analysen relaterades till tidigare litteratur för att jämföra och validera resultaten samt bidra till besvarandet av studiens forskningsfrågor.

Forskningsprocessen har således varit delvis iterativ, där nya insikter från litteratur och intervjuer löpande bidrog till justeringar av problemformuleringen och tematiseringen. Slutligen omfattade den avslutande fasen en diskussion och slutsatsdragning, där studiens resultat analyserades i relation till litteratur och tidigare forskning.

3.3 Datainsamling

Detta avsnitt redogör för de metoder och tillvägagångssätt som tillämpats vid insamling av det empiriska materialet i studien. Datainsamlingen har utformats för att möjliggöra en djupgående förståelse av centrala aktörers perspektiv på SMR-utveckling i Sverige. Här beskrivs urvalsprocessen för deltagare samt genomförandet av intervjuerna.

3.3.1 Urval

Urvalet av deltagare i denna studie utgick från ANItA:s kategorisering av centrala aktörsgrupper inom svensk SMR-utveckling och genomfördes med ett målinriktat urval (purposive sampling) enligt Bryman et al. (2022). Inledningsvis var ambitionen att inkludera representanter från fyra aktörsgrupper: akademi, industri, statliga myndigheter och civilsamhällesaktörer, för att ge en bred och inkluderande bild av perspektiven kring SMR i Sverige. Urvalet prioriterade variation i roller och mandat inom respektive grupp, med särskild betoning på personer i ledande eller strategiska positioner.

Deltagare identifierades genom professionella nätverk, organisationshemsidor och rekommendationer, vilket innebar användning av snöbollsurval (Bryman et al., 2022). Ett centralt urvalskriterium var att respondenterna hade en aktiv och insatt roll i sin organisation och därmed kunde bidra med djupgående kunskaper om SMR-teknikens genomförbarhet och legitimitet.

Trots riktade ansträngningar kunde intervjuer endast genomföras med representanter från akademien (tre personer) och industrin (tre personer). Det var däremot inte möjligt att inkludera deltagare från statliga myndigheter eller civilsamhällesaktörer. De tillfrågade kontaktades via e-post och fick information om studiens syfte, intervjuens upplägg, förväntad tidsåtgång samt principer för konfidentialitet och dataskydd.

3.3.2 Intervju

Datainsamlingen för denna studie genomfördes under våren 2025 och bestod av sex semistrukturerade intervjuer med representanter från både akademien och industrin. Valet av en semistrukturerad intervjumetod motiveras av dess förmåga att möjliggöra en djupgående undersökning av deltagarnas perspektiv och erfarenheter, samtidigt som den ger flexibilitet att följa upp nya eller oväntade insikter som kan framkomma under intervjuens gång (Bryman et al., 2022). Metoden är särskilt ändamålsenlig för studier som syftar till att utforska aktörers uppfattningar, organisatoriska praktiker och interorganisatoriska dynamiker inom komplexa och innovativa teknikområden såsom SMR.

Intervjuerna genomfördes digitalt via Zoom, vilket erbjöd flera fördelar. Plattformen möjliggjorde inkludering av respondenter oavsett geografisk hemvist och underlättade därmed rekrytering av deltagare från olika delar av Sverige. Vidare bidrog det digitala formatet till ökad flexibilitet vid schemaläggning samt minskad tidsmässig och logistisk belastning för både deltagare och forskare. Ytterligare en fördel var att resandet kunde minimeras, vilket bidrog till en mer hållbar datainsamlingsprocess ur miljösynpunkt.

Trots fördelarna är digitala intervjuer även förknippade med vissa nackdelar. Den digitala miljön kan exempelvis ge upphov till tekniska problem, såsom bristande internetuppkoppling eller störningar i ljud och bild, vilket kan påverka samtalets flyt och kvalitet. Det kan även vara svårare att etablera personlig kontakt och skapa förtroende mellan intervjuare och respondent när samtalet sker via skärm, vilket i vissa fall kan hämma djupare reflektioner och öppna svar. Vidare kan icke-verbala signaler vara svårare att uppfatta digitalt jämfört med vid fysiska möten, något som potentiellt kan påverka tolkningen av respondenternas utsagor.

Samtliga deltagare informerades i förväg om intervjuprocessens upplägg och om att intervjuerna skulle spelas in. Informerat samtycke inhämtades innan intervjuerna påbörjades. Intervjuerna varade mellan 35 och 45 minuter. Inför respektive intervju tillhandahölls en intervjuguide som innehöll de huvudsakliga frågeområden som skulle behandlas. Guiden tjänade både som förberedelse för deltagarna och som ett verktyg för att skapa transparens och förtroende i forskningsprocessen. Intervjuguiden var i huvudsak standardiserad för att möjliggöra jämförelser mellan intervjuerna, men anpassades i viss utsträckning beroende på respondenternas specifika roller, ansvarsområden och verksamhetskontext.

Intervjufrågorna var öppet formulerade för att uppmuntra till utförliga och reflekterande svar. Centrala teman i intervjuerna rörde bland annat deltagarnas roll i SMR-utvecklingsprocessen, erfarenheter av samverkan med andra aktörer samt upplevda utmaningar, möjligheter, drivkrafter och barriärer för implementeringen av SMR i Sverige. Det semistrukturerade formatet möjliggjorde även fördjupade samtal kring framväxande eller oväntade teman, vilket berikade empirin och skapade förutsättningar för en mer nyanserad analys.

Tabell 1 presenterar en sammanställning av urvalet samt nyckeluppgifter om genomförandet av intervjuerna, inklusive respondentkod, position, aktörskategori, intervjumetod, intervjudatum och intervjutid. De sex intervjuerna representerar både akademiska och

industriella perspektiv och genomfördes under perioden april–maj 2025. Efter genomförandet transkriberades samtliga intervjuer ordagrant. Transkriptionerna anonymiserades för att skydda deltagarnas identitet och lagrades säkert i enlighet med vedertagna forskningsetiska riktlinjer (BERA, 2024). Anonymiseringen syftade till att skapa en trygg intervjusituation och uppmuntra respondenterna att uttrycka sina perspektiv och erfarenheter öppet, utan oro för eventuella konsekvenser. Detta etiska förhållningssätt är särskilt viktigt i studier som behandlar organisatoriska och strategiska frågor, där öppenhet är en förutsättning för att fånga djupgående och ärliga insikter (Bryman et al., 2022).

Tabell 1: Sammanställning av intervjuer med intressenter (Sammanställd av författarna).

Respondentkod	Position	Aktörskategori	Metod	Intervjudatum	Intervjutid (Minuter)
R1	Marknadsområdeschef, kärnteknik	Industri	Zoom	2025-04-22	45
R2	Professor inom energi & material	Akademi	Zoom	2025-04-25	37
R3	Forskare	Akademi	Zoom	2025-05-13	43
R4	R&D portföljansvarig	Industri	Zoom	2025-05-13	39
R5	Portföljansvarig	Industri	Zoom	2025-05-14	35
R6	Lektor i tillämpad kärnfysik	Akademi	Zoom	2025-05-15	40

Not:

- *Portföljansvarig = Samordnar och övervakar flera projekt, ofta med fokus på tidiga utvecklingsfaser och nya affärsmöjligheter.*
- *R&D portföljansvarig = Samordnar och leder forsknings- och utvecklingsprojekt inom utvalda teknik- eller affärsområden för hela organisationen.*

3.4 Dataanalys

I detta avsnitt beskrivs de analytiska tillvägagångssätt som användes för att tolka och bearbeta det insamlade intervjumaterialet. Analysprocessen utformades för att möjliggöra en systematisk och transparent tolkning av aktörernas perspektiv och erfarenheter kopplade till SMR-utveckling i Sverige. Nedan redovisas den tematiska analysmetod som användes samt hur huvudteman och underteman identifierades och strukturerades utifrån det empiriska materialet.

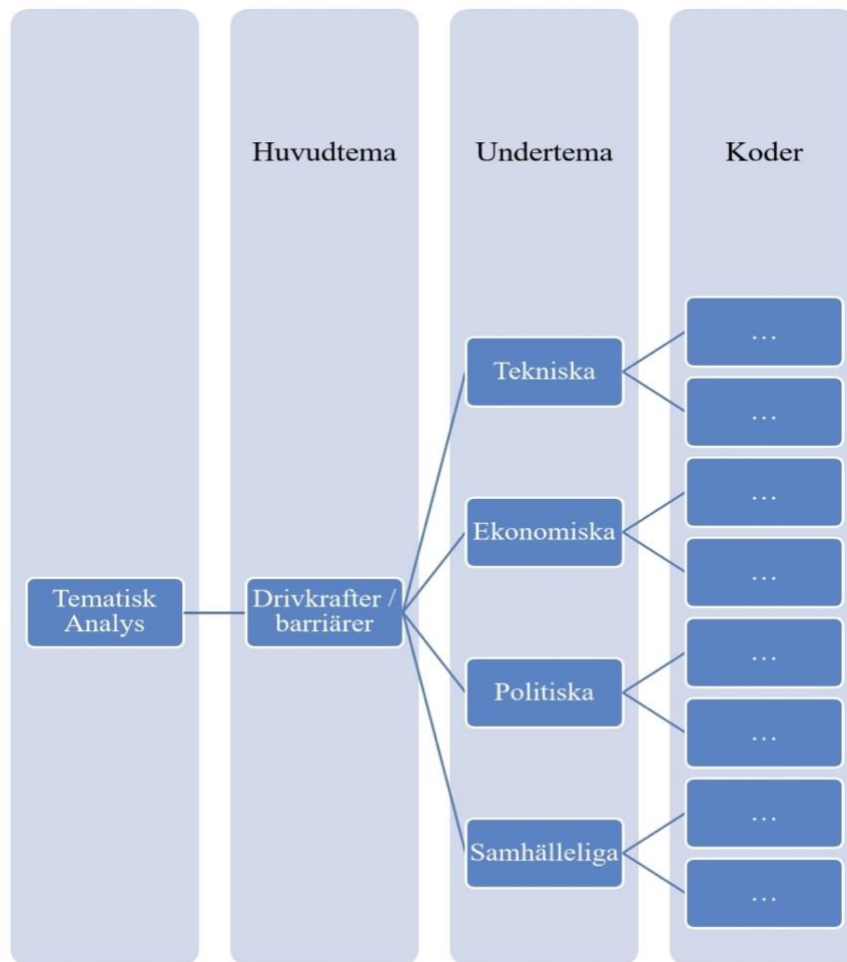
3.4.1 Tematiskt analys

För analysen av intervjumaterialet användes tematisk analys enligt den modell som föreslogs av Braun och Clarke (2006). Denna metod valdes för dess flexibilitet och förmåga att möjliggöra en systematisk, nyanserad och transparent tolkning av kvalitativa data. Tematisk

analys ansågs särskilt ändamålsenlig för studiens syfte att belysa olika aktörsperspektiv på drivkrafter och barriärer för implementeringen av SMR i Sverige. Analysprocessen följde de sex faser som Braun och Clarke (2006) beskrev: (1) fördjupad bekantskap med materialet, (2) generering av initiala koder, (3) sortering av koder i teman och underteman, (4) granskning av teman, (5) definiering och namngivning av teman och underteman samt (6) rapportering av resultaten.

I denna studie tillämpades en kombination av deduktiv och induktiv ansats. De övergripande huvudtemana (drivkrafter och barriärer), samt deras underteman (tekniska, ekonomiska, politiska och samhällliga aspekter) definierades initialt utifrån litteraturgenomgången och tidigare forskning om SMR (Braun och Clarke, 2006). Dessa teman och underteman fungerade därmed som en analytisk ram för att strukturera analysen (*se Figur 4*). Kodningen av intervjumaterialet genomfördes däremot induktivt, med utgångspunkt i respondenternas egna formuleringar, uttryck och erfarenheter. Genom att utgå från det empiriska materialet identifierades meningsbärande sekvenser, som kodades utan att på förhand styras av teoribaserade begrepp.

Efter kodningen sorterades de identifierade koderna in under de fördefinierade teman och underteman. Den tematiska strukturen granskades kontinuerligt mot hela datamaterialet för att säkerställa att varje tema och undertema var empiriskt förankrat, analytiskt tydligt och reflekterade variationen i materialet. Vid behov preciserades vissa teman för att bättre fånga nyanser och skillnader i aktörernas perspektiv. Slutligen presenterades resultaten tematiskt, där huvudteman och underteman illustrerades med representativa citat som tydliggjorde deltagarnas olika erfarenheter och åsikter. Den valda metodologiska strategin, där teman och underteman definierades deduktivt men kodningen genomfördes induktivt, bedömdes vara förenlig med Braun och Clarkes (2006) beskrivning av tematisk analys som en flexibel och transparent metod för kvalitativ dataanalys.



Figur 4: Tematisk analys. (Skapad av författarna)

3.5 Etiska överväganden

Etiska överväganden var centrala för denna studie, och samtliga moment genomfördes i enlighet med etablerade akademiska och institutionella riktlinjer för forskning med mänskliga deltagare (Bryman et al., 2022; Vetenskapsrådet, 2024; BERA, 2024). Särskild vikt lades vid att skydda deltagarnas integritet, autonomi och värdighet, i linje med Vetenskapsrådets rekommendationer om god forskningssed (Vetenskapsrådet, 2024).

Informerat samtycke säkerställdes genom att alla potentiella deltagare fick en skriftlig inbjudan via e-post med information om studiens syfte, den förväntade intervjutiden och hur insamlade data skulle användas. De informerades om att medverkan var frivillig och att de när som helst kunde avbryta sitt deltagande utan negativa konsekvenser. Före varje intervju inhämtades muntligt samtycke, inklusive godkännande av ljudinspelning för att möjliggöra korrekt transkribering och analys.

Anonymitet och konfidentialitet upprätthölls genom att samtliga personliga och organisatoriska identifierare togs bort. I transkriptioner och rapportering användes respondentkoder (t.ex. "R1") och generiska beteckningar som "Respondent från industri" eller "Akademisk respondent". All insamlad data lagrades säkert med begränsad åtkomst för författarna. Inspelat material användes enbart för forskningsändamål och raderades efter transkribering, varefter anonymiserade transkriptioner förvarades i en skyddad digital miljö.

Intervjuprocessen anpassades efter respondenternas tillgänglighet, och kommunikationen var öppen både före och efter intervjuerna för att ge möjlighet till frågor. Deltagarna tackades för sina bidrag, som betonades vara av stor betydelse för studiens resultat. Eftersom studien fokuserade på professionella aktörer bedömdes risken för skada som minimal. Vid potentiellt känsliga frågor intog författarna en neutral och respektfull hållning, undvek ledande frågor och lät deltagarna själva avgöra vilka aspekter de ville diskutera.

3.6 Datakvalitet

Säkrandet av datakvalitet har varit en central utgångspunkt för att upprätthålla trovärdighet, validitet och forskningsetisk integritet i denna kvalitativa studie (Bryman et al., 2022). Genom tillämpning av etablerade kvalitetskriterier för kvalitativ forskning, trovärdighet, överförbarhet, tillförlitlighet och bekräftbarhet, har studiens robusthet systematiskt säkerställts. Dessa kriterier har anpassats till studiens kontext för att på ett transparent och metodologiskt stringent sätt hantera den tolkande karaktären hos det empiriska materialet.

Trovärdighet

Trovärdighet motsvarar intern validitet i kvantitativ forskning och avser i vilken utsträckning resultaten på ett rättvisande sätt återspeglar deltagarnas perspektiv och erfarenheter (Bryman et al., 2022). För att stärka trovärdigheten har semistrukturerade intervjuer genomförts med stöd av en systematiskt utvecklad intervjuguide, där centrala teman behandlades konsekvent över samtliga intervjuer, samtidigt som flexibilitet möjliggjorde utforskning av nya relevanta aspekter. Urvalet av deltagare genomfördes målinriktat och säkerställde att samtliga respondenter besatt specialistkompetens och praktisk erfarenhet av SMR-utveckling i Sverige. Intervjuerna spelades in efter informerat samtycke och transkriberades ordagrant, vilket möjliggjorde noggrann bearbetning av respondenternas utsagor i direkt anslutning till rådata. Kodning och tematisering av det empiriska materialet har skett i nära anslutning till deltagarnas egna formuleringar, vilket ytterligare stärker resultatens förankring i empirisk verklighet. Den kontinuerliga granskningen av kodningen och tillämpningen av den tematiska ramen har säkerställt att analysen förblivit trogen det empiriska materialets innebörd (Braun & Clarke, 2006).

Överförbarhet

Överförbarhet avser möjligheten att bedöma huruvida studiens resultat kan appliceras i andra sammanhang med liknande kontextuella förhållanden (Bryman et al., 2022). I denna studie möjliggörs överförbarhet genom detaljerad beskrivning av respondenternas yrkesbakgrund, aktörstillhörighet (industri respektive akademi) samt den svenska policy- och teknikram inom vilken SMR utvecklas. Genom att inkludera två centrala aktörsgrupper och presentera

variationen i deras erfarenheter och perspektiv ges andra forskare och praktiker ett rikt empiriskt underlag för att bedöma resultatens relevans i andra nationella eller internationella kontexter för energiteknisk omställning.

Tillförlitlighet

Tillförlitlighet avser studiens stabilitet och systematik i datainsamling och analys, och motsvarar reliabilitet i kvantitativ forskning (Bryman et al., 2022). Studiens forskningsprocess har dokumenterats utförligt och transparent, inklusive urvalskriterier, utveckling av intervjuguide, genomförande av intervjuer samt de stegvisa momenten i den tematiska analysen enligt Braun och Clarke (2006). Denna dokumentation skapar en tydlig audit trail som möjliggör för andra forskare att följa och granska forskningsprocessens logik och konsekvens.

Bekräftbarhet

Bekräftbarhet syftar till att säkerställa att resultat och tolkningar baseras på empiriska data snarare än på forskarnas egna värderingar eller förförståelser (Bryman et al., 2022). Genom ett transparent datahanteringssystem har samtliga transkriptioner anonymiserats och lagrats i krypterade digitala miljöer med begränsad åtkomst. Ljudfiler raderades efter transkribering i enlighet med etiska riktlinjer. Vid kodning och tematisering genomfördes återkommande avstämningar mellan författarna för att minimera subjektivitet i tolkningarna. Ett reflexivt förhållningssätt har konsekvent upprätthållits, där medvetenhet om egna tolkningsramar aktivt beaktats. Den etiska hanteringen av deltagarnas konfidentialitet och frivilliga medverkan har därutöver bidragit till att skapa en förtroendefull intervjusituation som främjat öppenhet och datainsamlingens autenticitet. Sammanfattningsvis är datakvaliteten i denna studie förankrad i väl etablerade kvalitetskriterier och har säkerställts genom metodologisk stringens, empirisk transparens och etisk noggrannhet. Därigenom ges studiens resultat en hög grad av trovärdighet och relevans för att belysa aktörsperspektiv på drivkrafter och barriärer i implementeringen av SMR i Sverige.

4. Empiriska Resultat

Detta kapitel presenterar de drivkrafter och barriärer som identifierades för implementeringen av SMR i Sverige. Kapitlet är indelat i två huvudsakliga delar. Den första delen redogör för de viktigaste drivkrafterna, baserat på intervjuer med representanter från både industri och akademi. Den andra delen belyser de barriärer och utmaningar som riskerar att hämma eller försvåra införandet av tekniken. På så sätt ges en samlad bild av såväl möjligheter som hinder för SMR inom den svenska energisektorn.

4.1. Drivkrafter för implementering av SMR i Sverige

Nedan presenteras de huvudsakliga drivkrafter som identifierats för implementeringen av SMR i Sverige, baserat på intervjuer med representanter från både industri och akademi. Drivkrafterna delas in i fyra kategorier: tekniska, ekonomiska, politiska och strategiska samt samhällseliga. **Tabell 2** ger en översikt över dessa kategorier och deras underteman, som sedan utvecklas mer ingående i texten nedan.

Tabell 2: Översikt över identifierade drivkrafter för implementering av SMR i Sverige (Sammanställd av författarna)

Huvudtema	Undertema	Kod
Drivkrafter	Tekniska	Systemintegration och lokal nytta
	Tekniska	Säkerhetsfördelar och robusthet
	Tekniska	Modularitet, standardisering och byggbarhet
	Tekniska	Teknologisk mognad och internationell utveckling
Drivkrafter	Ekonomiska	Minskad finansiell risk och förbättrat kassaflöde
	Ekonomiska	Lokaliseringsflexibilitet och undvikande av överföringskostnader
	Ekonomiska	Modularitet och möjlig standardisering (produktionsekonomi)
Drivkrafter	Politiska och strategiska	Förbättrade politiska och regulatoriska villkor
	Politiska och strategiska	Sveriges roll i ett internationellt och strategiskt sammanhang
	Politiska och strategiska	Drivkraft mot internationell standardisering
Drivkrafter	Samhällseliga	Ökad allmän entusiasm och acceptans
	Samhällseliga	Lokalt stöd och möjligheter för kommuner
	Samhällseliga	Anpassning till samhällsnytta och breddad användning

4.1.1 Tekniska drivkrafter

Införandet av SMR i det svenska energisystemet förväntas bidra till att möta klimat- och effektbalansmål, och även erbjuda viktiga tekniska fördelar som löser specifika utmaningar i dagens elnät och inte minst förbättrar säkerhetsprofilen för kärnkraft. Ur ett systemperspektiv spelar tekniska egenskaper hos SMR en central roll för att både främja acceptans hos beslutsfattare och leverantörer och för att hantera praktiska hinder i genomförandeskedet. Nedan redovisas fyra framträdande tekniska drivkrafter, med representativa citat från både industri- och akademirepresentanter.

Systemintegration och lokal nytta

Möjligheten att anpassa produktion och placering av SMR efter lokala behov framstår som en tydlig fördel ur industriperspektiv. R5, verksam inom industrin, lyfter fram hur SMR kan nyttjas i mer nischade marknader eller i områden med svag nätkapacitet:

”På vissa platser finns mer nischade marknader och industriella tillämpningar. Man kan vilja ha energi lokalt nära sin egen industri, eller i länder med begränsad kapacitet i elnätet, där kan SMR vara bra. Jag tror att det kan funka väldigt bra ur ett systemperspektiv.”- R5.

Vidare pekar samma respondent på att en spridning av flera SMR-enheter kan stärka nätets driftsäkerhet genom att tillhandahålla stödtjänster nära strategiska flaskhalsar:

”Flera SMR:er kan också hjälpa Svenska Kraftnät att tillhandahålla stödtjänster på strategiska platser i elnätet, vilket ger mer redundans och säker drift. Det tror jag är en stor fördel ur ett systemperspektiv.”-R5.

Tillsammans visar dessa synpunkter att SMR-teknikens flexibilitet och konkret kan adressera utmaningar i dagens svenska elsystem. Ur ett drivkraftsperspektiv innebär detta att SMR:ers lokala anpassningsbarhet ökar intresset hos nätoperatörer och industrier som vill säkra sin effektförsörjning, samtidigt som barriärer kring nätanlutning och kapacitetsbrist kan mildras.

Säkerhetsfördelar och robusthet

Säkerhet är en grundpelare i svensk kärnkraftsdialog och framstår som en kritisk faktor för både allmän acceptans och myndighetsprövning. R1, marknadsområdeschef inom kärnteknikindustrin, beskriver hur SMR:ers låga effekttäthet möjliggör passiv kylning:

” En av de största fördelarna med små reaktorer är just deras kylförmåga. Stora reaktorer ger visserligen hög effekt per volymenhet, vilket gynnar ekonomin, men ställer stora krav på kylsystemen, eftersom mycket värme måste avledas vid en incident. Om kylningen upphör, som i Fukushima, blir det snabbt allvarligt för en stor anläggning. I en liten reaktor med låg effekttäthet räcker däremot den naturliga vattencirkulationen för att sköta all kylning, även under full drift. Skulle strömförsörjningen brytas kan reaktorn fortsätta kylas utan pumpar,

vilket är en betydande säkerhetsfördel, något som framstår som extra viktigt efter Fukushima.”-R1.

Denna passiva säkerhetsprofil stöds av en akademisk röst, R6, som betonar att både den lägre effekten och det mindre bränsleinhållet minskar de potentiella konsekvenserna vid worst-case-scenarier:

”Dessutom finns det mindre material i härden, så vid ett värsta tänkbart haveri är mängden material som kan spridas mindre. Effekten är ofta lägre också, så det finns olika säkerhetsfördelar med SMR, men det återstår att se i praktiken.”- R6.

Detta innebär att de tekniska säkerhetsfördelarna utgör en starkt positiv drivkraft och adresserar kärnkraftens största legitimitetsutmaning, det vill säga risken för allvarliga haverier.

Modularitet, standardisering och byggbarhet

En ofta återkommande fördel med SMR är konceptet serietillverkning, vilket enligt R2 (professor inom energi och material) kan ge betydande kostnads- och tidsbesparingar:

” En annan betydande fördel är att små reaktorer kan serietillverkas likt flygplan, vilket ger hög standardisering och kostnadseffektivitet i produktionen.” – R2.

Denna idé understryks av forskaren R3, som också betonar modularitetens betydelse för att undvika unika, skräddarsydda konstruktioner:

”Modulariteten är en annan fördel, att man kan standardisera tillverkningen enligt löpande band-principen, så att reaktorerna blir till stor del identiska. Då slipper man unika, dyra utformningar för varje anläggning.”- R3.

Genom standardiserad produktion kan SMR-projekt genomföras med högre förutsägbarhet, vilket är avgörande för att sänka både ekonomiska och organisatoriska trösklar. Detta är en tydlig teknisk drivkraft för att övervinna den traditionellt långa och osäkra byggtiden för konventionella reaktorer. Dock kan standardiseringskraven ställas mot svenska regelverk som historiskt är anpassade för skalförändringar hos stora reaktorer, vilket kan innebära en barriär om godkännandeprocessen inte moderniseras.

Teknologisk mognad och internationell utveckling

Sist men inte minst framhäver flera respondenter hur SMR-projekt utomlands fungerar som både testbäddar och trovärdighetsstämplar. R&D portföljansvarig (R4) nämner kanadensiska BWRX-300 som ett av de mest mogna koncepten:

”Tittar vi på lättvattenreaktor-SMR finns många olika koncept med varierande mognadsgrad. I Kanada bygger man BWRX-300, som verkar vara bland de mest mogna. Där finns inte så stora tekniska hinder, eftersom koncepten bygger på 70 års kommersiell erfarenhet.”- R4.

Professor R2 kompletterar bilden genom att peka på avtal och förstudier i Kanada och Polen, samt studier av Vattenfall inför en tänkbar installation vid Ringhals:

”BWRX-300, den modell jag tror allra mest på, byggs för närvarande vid ett anläggningsprojekt utanför Toronto, Kanada. Där har man redan tecknat ett avsiktsavtal för en andra reaktor för att bekräfta konceptet. Polen har dessutom gjort en icke-bindande förbeställning på flera enheter, och i Sverige har Vattenfall granskat BWRX-300 som möjlig kandidat för Ringhals.”- R2.

Externa referensprojekt fungerar som ett slags “teknologiskt kvitto” och minskar osäkerheten kring regulatoriska krav och leverantörers kapacitet. Detta stärker SMR:ers attraktionskraft som realistiska alternativ i Sverige, samtidigt som det pekar på en potentiell barriär i form av beroendet av utländska leverantörer och licenser, en fråga som också berör nationell industriell suveränitet.

4.1.2 Ekonomiska drivkrafter

Ekonomiska faktorer spelar en avgörande roll för implementeringen av ny energiteknik, och särskilt när det gäller kapitalintensiva projekt som kärnkraft. En av de mest centrala frågorna kring SMR i Sverige är om de kan erbjuda en mer attraktiv finansiell modell jämfört med traditionella storskaliga reaktorer. Intervjuerna visar tydligt att både industri- och akademirepresentanter ser flera ekonomiska drivkrafter som särskilt relevanta för SMR, där minskad risk, större flexibilitet och möjligheten till standardisering står i centrum. Nedan utvecklas dessa teman, illustrerade med representativa citat från respondenterna.

Minskad finansiell risk och förbättrat kassaflöde

Ett återkommande tema i intervjuerna är möjligheten att drastiskt minska den finansiella risken vid investering i SMR jämfört med traditionell kärnkraft. R5, portföljansvarig inom industrin, betonar att investeringsbeloppet för ett SMR-projekt är betydligt lägre, vilket underlättar finansiering:

”Den största fördelen är en reducerad projektrisk. Det betyder inte nödvändigtvis att det är mycket enklare att bygga ett litet kärnkraftverk än ett stort, det återstår att bevisa. Men finansiellt handlar det om att vi talar om investeringar på två miljarder dollar istället för åtta till tio miljarder dollar för en stor reaktor. Bara det kapitalet är enklare att få ihop.” – R5.

En annan aspekt är möjligheten att dela upp investeringarna över tid och mellan flera enheter, vilket innebär att ett misslyckande i ett projekt inte äventyrar hela satsningen. R4 förklarar:

”Varje SMR kan vara ett eget projekt, så vi finansierar en, två, tre eller fyra separat. Om den första går dåligt påverkar det inte kassaflödet i de andra projekten. I ett stort projekt är allt samlat i ett projekt, då är det do or die.” – R4.

Flera respondenter lyfter också fram att lägre risk ger lägre kapitalkostnad, något som är särskilt viktigt för kärnkraft där finansieringskostnader utgör den största delen av totalkostnaden:

”Därför tror jag att man kan dra ner risken och därmed kapitalkostnaden, och kapitalkostnaden är allt i kärnkraft, den står för 70 % av totalkostnaden.” – R1.

Dessutom innebär SMR-konceptet att anläggningarna kan tas i drift successivt, vilket ger intäkter snabbare och minskar räntekostnaderna. Detta framhålls av både R2 och R4:

” Om man bygger fem små reaktorer i serie kan den första börja leverera el innan den femte är klar, vilket skapar kassaflöde tidigt och sprider ut den ekonomiska risken jämfört med en enda stor anläggning.” – R2.

” Projektet kan slutföras inom en mandatperiod, vilket dämpar räntekostnaderna. Att betala räntor i tre år innan man börjar generera intäkter från elproduktion är betydligt fördelaktigare än en byggtid på sju, åtta eller i extrema fall, tio till femton år.” – R4.

Möjligheten att sprida investeringar över tid, minska projektrisk, starta intäktsflöden tidigare och sänka kapitalkostnaden gör SMR särskilt attraktiva för investerare och långgivare. Detta är en stark ekonomisk drivkraft och adresserar samtidigt en av de största barriärerna för storskalig kärnkraft: den höga finansiella risken och osäkerheten kring återbetalning.

Lokaliseringsflexibilitet och undvikande av överföringskostnader

Ytterligare en ekonomisk fördel med SMR är möjligheten att lokalisera produktionen nära slutanvändaren, vilket ger både industriell nytta och lägre systemkostnader. R3 pekar på den praktiska vinsten:

”En annan fördel med små reaktorer är att de kan placeras direkt där elbehovet finns. Ett oljeraffinaderi behöver till exempel inte 1400 MW, utan kanske runt 300 MW, en nivå som en modulär reaktor kan leverera på plats. Det eliminerar kostnaderna för långa högspänningsledning, och ägarna får tydlig kontroll över elpriset när anläggningen är färdig, något som är särskilt värdefullt i dagens osäkra och politiskt styrda elmarknad.” – R3.

SMR:ers lokaliseringsflexibilitet innebär att de kan byggas där efterfrågan är som störst, exempelvis i anslutning till energikrävande industrier. Detta minskar behovet av dyr utbyggnad av elnätet och ger större kontroll över elpriser och leveranssäkerhet, vilket är en avgörande ekonomisk drivkraft för industrin.

Modularitet och möjlig standardisering (produktionsekonomi)

SMR-teknikens modularitet och möjlighet till standardisering nämns ofta som en potentiell ekonomisk "game changer". R3 förklarar hur modularitet kan ge snabbare avkastning:

"Förhoppningen är att storleken och modulariteten ska kunna kompensera för förlusten av stordriftsfördelar och dessutom göra det möjligt för investerare att snabbare få avkastning på sitt kapital, eftersom anläggningarna kan tas i drift snabbare." – R3.

Standardisering och serieproduktion kan, enligt R2, även bidra till att minska byggkostnader och förseningar:

"Om vi kunde bygga standardiserade, modulära reaktorer skulle både kostnaderna och risken för förseningar minska. Genom att tillverka hundra identiska reaktorer i serie, och göra det inomhus under kontrollerade former, kan vi dessutom undvika många av de uppstartsproblem som annars brukar uppstå i produktionen." – R2.

Om samma principer som används inom fordons- eller flygplansindustrin tillämpas på SMR, kan detta på sikt medföra betydande kostnadsbesparingar, kortare byggtider samt ökad konkurrenskraft och investeringsvilja. Detta stärker teknikens ekonomiska drivkraft. De ekonomiska drivkrafterna för SMR-implementering är tydliga och har stor bäring på studiens syfte att förstå vad som kan underlätta respektive försvåra teknikinförandet. Respondenterna är eniga om att den sänkta projektrisk, ökad flexibilitet i lokalisering, och potentialen för standardisering utgör betydande incitament för investeringar, särskilt i en svensk kontext där storskaliga projekt ofta bromsas av finansiella och regulatoriska utmaningar. Det är dock viktigt att notera att flera respondenter också uttrycker viss försiktighet och menar att ekonomiska fördelar i viss mån bygger på antaganden om framtida serietillverkning, lärlkurvor och regulatorisk anpassning. Detta innebär att även om drivkrafterna är starka, kvarstår osäkerheter och potentiella barriärer som måste adresseras, till exempel behov av nya affärsmodeller och riskdelning.

4.1.3 Politiska och strategiska drivkrafter

Utöver de tekniska och ekonomiska faktorerna har politiska och strategiska drivkrafter fått ökad betydelse för implementeringen av SMR i Sverige. Den svenska energipolitiken och kärnkraftens framtid har länge präglats av osäkerhet och svårnavigerade regelverk, men intervjuerna visar att ett skifte håller på att ske. En ny politisk vilja, förenklade tillståndsprocesser och möjligheten för Sverige att inta en strategisk roll på den internationella SMR-arenan framstår som avgörande faktorer för att bana väg för tekniken. Nedan presenteras de centrala teman som återkommit i samtalen med både industri- och akademirepresentanter, tillsammans med representativa citat.

Förbättrade politiska och regulatoriska villkor

Flera respondenter lyfter fram de förändringar som skett i både politiska riktlinjer och regulatoriska processer under de senaste åren. R5 understryker att de politiska reformerna på kort tid radikalt förbättrat möjligheterna för nya investeringar i kärnkraft:

”Regulatoriskt har det hänt mycket de senaste tre åren, både politiskt och regulatoriskt. Regeringen har gjort mycket för att göra kärnkraft till en investerbar produkt och förflytta det från en statlig affär till mer marknadsanpassat, även om staten fortfarande är involverad. 2019 var det i praktiken olagligt att bygga ny kärnkraft. Nu är det förändrat, jättebra!” – R5.

Även R1 pekar på att tillståndsprocesserna nu gör det möjligt att hantera risker tidigt och stegvis, vilket minskar den övergripande projektosäkerheten:

”Tillståndsprocessen har ändrats så att man kan hantera tidiga risker, militär, politik, intressekonflikter, mycket tidigare. Det sänker också risken stegvis.” – R1.

Den byråkratiska lättnaden lyfts också av R3:

”Det utgör framför allt ett sätt att effektivisera och förenkla de omfattande byråkratiska processer som präglar kärnkraftsbranschen.” – R3.

Politiska och regulatoriska reformer har resulterat i en mer investerarvänlig miljö för ny kärnkraft, där särskilt SMR gynnas av effektivare och mer transparenta tillståndsprocesser. Den ökade politiska viljan att möjliggöra ny kärnkraft minskar projektens osäkerhet och sänker tröskeln för både nationella och internationella investeringar. Det gör detta till en tydlig drivkraft för implementering och hanterar samtidigt en tidigare kritisk barriär.

Sveriges roll i ett internationellt och strategiskt sammanhang

Flera respondenter ser SMR-utvecklingen som en möjlighet för Sverige att omdefiniera sin roll i den globala kärnkraftsindustrin. Istället för att fokusera på att bygga hela reaktorer kan Sverige bli en leverantör av högspecialiserade kompetenser och tekniska lösningar till den internationella SMR-marknaden. R6 uttrycker det så här:

”Sverige kommer inte att ha samma roll som på 70- och 80-talet när vi byggde egna reaktorer. [...] Vi är bra på kunskap och kan bli experter på olika stödfunktioner eller komponenter, till exempel övervakning, material eller kraftnät. Sverige har en roll att fylla, särskilt som specialistkompetens inom olika områden, snarare än att sälja hela reaktorer.” – R6.

Om Sverige intar en mer nischad och kunskapsintensiv roll i den globala SMR-utvecklingen kan landet fortsätta vara en relevant och respekterad aktör, utan att behöva ta hela investeringsbördan för nya reaktorbyggen. En sådan strategisk positionering gynnar både svensk industri och forskning, samtidigt som det stärker Sveriges internationella inflytande i en snabbt växande sektor.

Drivkraft mot internationell standardisering

En tredje strategisk drivkraft som lyfts fram är behovet av internationell harmonisering och standardisering av SMR-teknik och godkännandeprocesser. Flera respondenter pekar på att dagens kärnkraft präglas av nationella regelverk som skapar hinder för snabb utrustning och storskalig produktion. R2 förklarar:

”Hittills har det aldrig funnits någon global standard inom kärnkraft, till skillnad från flygindustrin. Om ett flygplan är godkänt i USA gäller det godkännandet i stort sett över hela världen. För ett kärnkraftverk däremot gäller inte samma princip, ett verk som godkänts i USA är inte automatiskt godkänt i Sverige” – R2.

R3 utvecklar resonemanget:

”Om man genom att införa strikt standardiserad teknik kan få många länder att acceptera samma godkännande, så att en reaktor som är godkänd i USA automatiskt godkänns även i Sverige, Frankrike och Storbritannien, skulle det förenkla och påskynda internationell spridning av tekniken.” – R3.

Även R5 ser stora fördelar med global standardisering för att möjliggöra storskalig industriell produktion:

”Alltså, om både själva byggnaden och reaktorn hade en gemensam standard överallt, då skulle tillverkarna kunna börja massstillverka dem. Då kan de få in beställningar på exakt likadana reaktorer, och då kan man bygga dem inomhus på löpande band istället för att stå ute i kylan och bygga allt från grunden varje gång” – R5.

Internationell harmonisering av standarder och godkännanden är en strategisk nyckelfråga för att SMR-tekniken ska bli verkligt konkurrenskraftig och skalbar. Om samma teknik kan godkännas i flera länder parallellt, skapas förutsättningar för global serieproduktion, snabbare utbyggnad och ökad export, vilket gynnar både svenska leverantörer och energisystemet som helhet. De politiska och strategiska drivkrafterna kring SMR visar att det svenska innovationsklimatet nu formas av mer gynnsamma politiska signaler, ökad regulatorisk flexibilitet och en uttalad vilja att återta en internationell roll om än i en ny, mer specialiserad form.

4.1.4 Samhälleliga drivkrafter

Samhälleliga faktorer är ofta avgörande för om nya tekniska lösningar som SMR får verklig genomslagskraft. Medan politiska och ekonomiska drivkrafter kan skapa strukturella möjligheter, är det ytterst på den samhälleliga arenan, bland medborgare, kommuner och civilsamhälle, som acceptans, entusiasm och motstånd formas. Intervjuerna visar att SMR i hög grad har börjat förändra diskussionen om kärnkraftens roll i Sverige. Nedan presenteras de

viktigaste samhälleliga drivkrafterna, med illustrativa citat från både industri- och akademisidan.

Ökad allmän entusiasm och acceptans

En av de mest uppmärksammade samhälleliga drivkrafterna är den växande entusiasm och acceptans som SMR verkar väcka hos allmänheten. R1 beskriver hur små reaktorer har bidragit till en ny positiv anda kring kärnkraft:

”Det jag personligen tycker är mest inspirerande är den entusiasm som små reaktorer har väckt kring kärnkraften. I det långa loppet är det kanske just engagemanget som är viktigast, viktigare än både ekonomi och reaktorfysik, eftersom utvecklingen kräver att någon verkligen vill driva den framåt. Små reaktorer kan mycket väl bidra till att skapa den viljan.” – R1.

Även R4 ser tecken på en förskjutning i opinionen mot en mer öppen och nyanserad syn på kärnkraft, särskilt när tekniken kan bidra till andra samhällsnyttor än enbart elproduktion:

”Jag upplever att omställningsdebatten har gjort att allmänheten i stort inte är lika antikärnkraft som förr. Många ser möjligheter, särskilt om kärnkraften kan leverera mer än bara el. Men man måste fortsätta informera, som SKB gjort med slutförvaret, arbeta med kommunikation och dialog.” – R4.

SMR har tydligt bidragit till en mer positiv syn på kärnkraft bland både allmänhet och beslutsfattare. Öppenhet, tydlig kommunikation och aktiv dialog är viktiga strategier för att bibehålla och förstärka detta stöd, särskilt i takt med att projekten går från vision till verklighet.

Lokalt stöd och möjligheter för kommuner

En annan viktig samhällelig drivkraft är det växande intresset från kommuner, som ser SMR som ett verktyg för att säkra lokal energiförsörjning och därmed möjliggöra industriell utveckling och arbetstillfällen. R6 formulerar detta tydligt:

”Jag tror stödet hos kommunerna redan är stort, de ser risken med att inte kunna attrahera nya industrier eller behålla befintliga, om elförsörjningen inte räcker till.” – R6.

Många kommuner, särskilt utanför storstäderna, ser SMR som ett konkret verktyg för att stärka lokal konkurrenskraft och motverka utflyttning. Detta stöd är ofta en förutsättning för att projekten ska kunna gå från idé till byggstart, vilket innebär att lokal förankring och samverkan måste prioriteras.

Anpassning till samhällsnytta och breddad användning

SMR:s möjligheter till bredare användning än traditionell elproduktion, till exempel leverans av fjärrvärme, processvärme och produktion av vätgas eller syntetiska bränslen, gör att

tekniken kan adressera fler samhällsbehov. R6 utvecklar resonemanget kring att fokusera på samhällsnytta och aktivt bemöta oro:

“Vissa är mot kärnkraft av principiella skäl och kommer aldrig ändra åsikt, andra oroar sig för avfallsfrågan, där kan man arbeta med avfallsminimering. Vissa är emot stora reaktorer, men det går att lyfta andra värden, processvärme, fjärrvärme, vätgas, syntetiska bränslen, så kan man föra diskussionen mer mot samhällsnytta.” – R6.

Att lyfta fram de samhällsnyttiga möjligheter som SMR erbjuder, utöver själva elproduktionen, stärker teknikens attraktionskraft hos både politiker, näringsliv och medborgare. En aktiv dialog om avfallsfrågan och ett transparent arbetssätt är samtidigt avgörande för att bemöta farhågor och bygga långsiktigt förtroende. I många fall har de samhälleliga drivkrafterna avgörande betydelse för teknikspridning, särskilt i omdebatterade frågor som kärnkraft. Intervjuerna visar att SMR har lyckats väcka en nyfikenhet och optimism som inte varit närvarande i svensk kärnkraftsdebatt på decennier. Kommuner och regioner uttrycker dessutom ett tydligt intresse, då de ser SMR som ett strategiskt verktyg för både lokal utveckling och klimatomställning. Samtidigt betonas vikten av en öppen och inkluderande dialog, där både oro och möjligheter tas på allvar.

4.2. Barriärer för implementering av SMR i Sverige

Detta avsnitt belyser de huvudsakliga barriärer och utmaningar som kan försvåra eller fördröja implementeringen av SMR i Sverige. Utifrån intervjuer med aktörer inom både industri och akademi har flera olika typer av hinder identifierats, vilka kan delas in i tekniska, ekonomiska, politiska och strategiska samt samhälleliga kategorier. **Tabell 3** sammanfattar dessa barriärer och deras underteman, vilka sedan beskrivs och analyseras mer ingående i de följande avsnitten.

Tabell 3: Översikt över identifierade barriärer för implementering av SMR i Sverige. (Sammanställd av författarna)

Huvudtema	Undertema	Kod
Barriärer	Tekniska	Regulatoriska och teknikkulturella hinder
	Tekniska	Bränsle- och avfallshantering
	Tekniska	Leveranskedja, byggbarhet och skalbarhet
	Tekniska	Drift, underhåll och långsiktigt kunnande
	Tekniska	Utmaningar kopplade till avancerade reaktortyper
	Tekniska	Elnät och systemintegration
Barriärer	Ekonomiska	Förlorade stordriftsfördelar och höga fasta kostnader
	Ekonomiska	Osäkerhet kring kostnader, serietillverkning och volymkrav

	Ekonomiska	Brist på tydliga affärs- och ekonomiska modeller
	Ekonomiska	Risker kopplade till minskad bemanning och säkerhet
Barriärer	Politiska	Regelverk, lagstiftning och tillståndsprocesser
	Politiska och strategiska	Lokaliseringsfrågor, riksintressen och praktiska utmaningar
	Politiska och strategiska	Standardisering, internationell licensiering och serieproduktion
	Politiska och strategiska	Investeringsklimat och politisk osäkerhet
	Politiska och strategiska	Kommunikation, strategi och branschsamverkan
Barriärer	Samhälleliga	Bristande kommunikation och kulturell acceptans
	Samhälleliga	Svårigheter för kommuner och lokalt ansvar
	Samhälleliga	Kompetensförsörjning och utbildning
	Samhälleliga	Behov av synliggörande av samhällsekonomiska effekter

4.2.1. Tekniska barriärer

Trots de många tekniska fördelarna med SMR-teknik, finns det betydande tekniska hinder som kan försvåra eller fördröja implementeringen i Sverige. Intervjuerna visar att dessa barriärer spänner över ett brett spektrum, från regulatorisk osäkerhet och bränsleförsörjning till komplexa frågor om leveranskedjor, drift och systemintegration. Nedan följer en systematisk genomgång av de viktigaste tekniska barriärerna, belyst med citat från både industri och akademi.

Teknisk och regulatorisk osäkerhet

Ett återkommande hinder är osäkerheten kring det regulatoriska ramverket och branschens konservatism. SMR bygger på ny teknik som inte är fullt utprövad och där lagstiftningen ännu är under utveckling, vilket skapar risker på flera nivåer. R5 uttrycker oro kring detta:

“Avancerade tekniker innebär stora risker, särskilt eftersom det regulatoriska ramverket inte är format än. Kärnkraftsbranschen i Sverige är väldigt konservativ, vilket gör det svårt för nya tekniker att få förtroende och bevisa sitt case.” – R5.

Även R3 påpekar att bristen på beprövade data om SMR:ers passiva säkerhetssystem försvårar både tekniskt och regulatoriskt godkännande:

“Bristen på data om hur SMR:ers passiva säkerhetssystem faktiskt fungerar skapar både teknisk och regulatorisk osäkerhet.” – R3.

R4 lyfter riskerna kring nya reaktordesigner och försörjningskedjor:

”Nya designer innebär alltid konstruktionsrisk. Till exempel BWRX-300-reaktorn, den ska börja byggas i Kanada, har aldrig byggts innan, så vi får se hur det går. Det handlar om konstruktionsrisk och supply chain-risk under byggfasen, och det gäller alla nya designer.” – R4.

Oklara regler, konservativ bransch och avsaknad av lång erfarenhet med ny teknik försvårar implementering av SMR på bred front. Detta skapar både tekniska och regulatoriska osäkerheter, särskilt när det gäller att ta steget från pilot till storskalig drift.

Bränsle- och avfallshantering

En annan betydande barriär är hanteringen av bränsle och kärnavfall. SMR, särskilt avancerade koncept, kräver ofta nya typer av bränsle och anpassade system för avfallshantering. R1 pekar på denna utmaning:

”Bränslefrågan är en annan, avancerade reaktorer kräver andra typer av bränslen, som knappt finns tillgängliga idag. Back-end-system för avfall är också utformade för andra tekniker, vilket gör det svårt.” – R1.

R6 understryker behovet av att ha kontroll över hela kärnbränslecykeln:

”Många utmaningar är kopplade till att få hela kärnbränslecykeln på plats, alltså både framtagning och hantering av bränsle och avfall.” – R6.

Nuvarande infrastruktur och rutiner för bränsle- och avfallshantering är i huvudsak anpassade för stora lättvattenreaktorer och behöver utvecklas och anpassas för SMR-teknik, vilket innebär investeringar och långsiktigt arbete.

Leveranskedja, byggbarhet och skalbarhet

Att skapa robusta leveranskedjor och möjliggöra serietillverkning är en grundförutsättning för SMR-konceptet, men det är också en betydande utmaning. R6 belyser den nuvarande osäkerheten i Europa:

”Kan man bygga upp en leveranskedja för alla komponenter som behövs? I USA och Kanada kanske det är gjort, men i Europa vet jag inte om vi är där än. Finns det leverantörer för pumpsystem, ventiler och liknande? Det tar tid att bygga upp sådant, särskilt om man inte hållit på med kärnkraft tidigare.” – R6.

R2 beskriver den utmanande dynamiken mellan efterfrågan och produktionskapacitet:

”För att en tillverkare ska kunna starta serietillverkning krävs ett betydande antal beställningar. Samtidigt uppstår frågan: Går det att få in många beställningar innan man faktiskt har bevisat att serietillverkningen fungerar? Det blir lite av ett hönan-eller-ägget-problem när det gäller att sätta igång alltihop.” – R2.

Det finns idag begränsad kapacitet och erfarenhet av att tillverka SMR-komponenter i Europa. Att bygga upp leveranskedjor kräver långsiktiga investeringar och nära samverkan mellan industri, leverantörer och beställare.

Drift, underhåll och långsiktigt kunnande

För att SMR ska kunna drivas tillförlitligt över tid krävs kompetens inte bara inom konstruktion, utan även långsiktig drift, underhåll och vidareutveckling. R3 betonar behovet av kunskapsuppbyggnad:

”Hur driver man stora projekt framgångsrikt? Hur ser man till att leverantörskedjor fungerar? Hur underhåller man anläggningar långsiktigt? Det behövs kunskap om hur man kan driva anläggningarna tillförlitligt. Det behövs forskning kring material, hur man driver reaktorer flexibelt och hållbart.” – R3.

Det råder brist på erfarenhet och kunnande kring långsiktig drift och underhåll av SMR, särskilt i svensk kontext. Detta kräver satsningar på utbildning, forskning och erfarenhetsuppbyggnad.

Utmaningar kopplade till avancerade reaktortyper

Avancerade SMR-koncept, såsom bly- och natriumkylda reaktorer, innebär särskilda tekniska problem utöver dem som redan är kända från traditionella reaktorer. R6 förklarar:

“Avancerade reaktorer (t.ex. Generation IV, blykylda, natriumkylda osv.) har många utmaningar, specifika för respektive teknik. Blykylda reaktorer har till exempel utmaningar med korrosion och materialval. Natriumkylda system har problem med brandrisk och är inte kompatibla med vatten.” – R6.

Varje avancerad SMR-teknik innebär unika risker och utvecklingsbehov, exempelvis gällande material, kylmedel och säkerhetskrav. Dessa barriärer kräver betydande FoU-insatser och pilotprojekt för att övervinnas.

Elnät och systemintegration

Slutligen finns utmaningar kopplade till hur SMR integreras i det svenska elsystemet. R4 pekar på problem kring nätstabilitet:

”Elnätets stabilitet gynnas av stora och tunga generatorer, eftersom de har högre tröghetsmoment och därmed bidrar mer effektivt till att upprätthålla nätets balans vid störningar. Hur mycket en anläggning bidrar till detta beror på dess storlek. Om man bygger många små reaktorer får man inte samma stabiliserande inverkan på nätet. Väljer man däremot att bygga några få, men relativt stora reaktorer, kan dessa fortfarande vara tillräckligt stora för att ge en positiv stabiliseringseffekt.” – R4.

R1 understryker att små reaktorer inte alltid bidrar till nätstabiliteten på samma sätt som stora anläggningar:

“Små reaktorer ger inte alltid samma nätstabilitet som stora, särskilt beroende på typ och storlek på generatorer. Detta är en viktig teknisk barriär för integrering av många SMR i Sveriges elsystem.” – R1.

Om många små reaktorer ersätter få stora kan stabiliteten i elnätet påverkas negativt, särskilt om generatorerna är små och lätta. Detta är ett tekniskt hinder som måste hanteras för att SMR ska kunna spela en betydande roll i elsystemet. De tekniska barriärerna för SMR-implementation i Sverige är många och komplexa. De innefattar såväl osäkerhet kring lagstiftning och regulatoriska krav som konkreta problem med leveranskedjor, bränslecykel, drift och systemintegration. Intervjuerna visar att även om potentialen är stor, krävs riktade satsningar på forskning, kompetensutveckling och infrastruktur för att dessa hinder ska kunna överbryggas.

4.2.2. Ekonomiska barriärer

Trots potentialen för snabbare avkastning och minskad projektrisk är implementeringen av SMR i Sverige förknippad med flera ekonomiska hinder. Dessa barriärer handlar främst om förlorade stordriftsfördelar, osäkerhet kring kostnadsbild och affärsmodeller samt risker kring bemanning och säkerhet. Intervjuerna med både industri- och akademirepresentanter ger en nyanserad bild av vilka utmaningar som måste hanteras för att SMR ska bli ett ekonomiskt hållbart alternativ.

Förlorade stordriftsfördelar och höga fasta kostnader

En av de mest återkommande ekonomiska barriärerna handlar om SMR:s förlust av stordriftsfördelar. Flera respondenter menar att traditionell kärnkraft har varit ekonomiskt attraktiv just för att större anläggningar kan sprida ut kostnader på fler producerade kilowattimmar. R2 påpekar att:

” Oftast lönar det sig att bygga stort. Det är just skalfördelarna som gör det billigare och dessutom är det viktigt för att kunna leverera el till ett rimligt pris.” – R2.

R3 lyfter fram:

“Den stora nackdelen är economies of scale. [...] Om jag kan sprida ut kostnaderna över större produktion blir kilowattimmen billigare. [...] Ekonomin i storskalighet går förlorad, men minskade kapitalkostnader och risk kan kompensera för det.” – R3.

Vidare förklarar R1 att bygg- och driftkostnader per producerad watt blir lägre ju större anläggningen är:

“Vid en fördubbling av reaktorstorleken ökar inte kringkostnader och driftkostnader proportionellt. Större reaktorer ger lägre kostnad per producerad watt, både vad gäller drift och material, tack vare stordriftsfördelar.” – R1.

R1 påpekar dessutom att själva reaktorn bara utgör en mindre del av de totala anläggningskostnaderna:

“Det viktigaste är egentligen att reaktorn bara är en liten del av hela anläggningen. Om man gör reaktorn mindre, så blir inte byggnaderna runt omkring särskilt mycket mindre, så den kostnaden är ungefär densamma oavsett storlek på reaktorn.” – R1.

Även personalbehovet kan bli en ekonomisk barriär, menar R4:

” Oavsett reaktorns storlek finns ett fast personalbehov: ett bemannat kontrollrum krävs dygnet runt, vilket innebär att samma antal skiftlag och servicepersonal behövs för både små och stora anläggningar, det går därför inte att minska antalet anställda under en viss nivå.” – R4.

SMR-tekniken innebär att stordriftsfördelar går förlorade, samtidigt som fasta kostnader för kringutrustning och drift inte minskar i samma takt som reaktorns storlek. Det finns därför en risk att priset per kilowattimme blir högre för SMR än för konventionella större reaktorer.

Osäkerhet kring kostnader, serietillverkning och volymkrav

En annan betydande ekonomisk barriär är osäkerheten kring vad det faktiskt kommer att kosta att bygga och driva SMR i stor skala. R5 påpekar att volymen är avgörande för att uppnå lönsamhet:

” Små reaktorer blir inte billiga om man bara bygger några få. Man måste bygga många, helst mellan 100 och 200 stycken, i en serie för att det ska löna sig.” – R5.

Standardisering är avgörande, enligt R3:

”Om det finns för många olika SMR-koncept förlorar man de ekonomiska fördelarna med standardisering. Med tiden måste man minska antalet SMR-koncept till något överblickbart, så att man kan producera varje typ i tillräckligt stor skala för att det ska bli ekonomiskt försvarbart och konkurrenskraftigt.” – R3.

Dessutom är de första projekten alltid förknippade med större osäkerhet och högre kostnader, säger R6:

”Den första av något nytt ("first of a kind") är alltid väldigt dyr att bygga. Frågan är vad "nth of a kind" kostar, alltså vad det kostar när man byggt många.” – R6.

Historiskt sett har kärnkraftsprojekt ofta försenats och blivit dyrare än planerat, vilket även lyfts av R2:

”Historiskt sett har det ofta tagit lång tid och varit svårt att förutse hur lång byggtiden för kärnkraftverk blir. [...] Byggtiderna drar ut på tiden och kostnaderna ökar.” – R2.

SMR kräver storskalig serietillverkning och standardisering för att bli konkurrenskraftigt. De första projekten är riskabla och kostsamma, och det finns en osäkerhet kring om den nödvändiga volymen av beställningar och enheter kommer att uppnås.

Brist på tydliga affärs- och ekonomiska modeller

Ytterligare en barriär handlar om affärsmodeller och efterfrågan. R6 lyfter frågan om vem som faktiskt är den tänkta kunden:

“Med SMR är frågan om de är tänkta för nationell elförsörjning eller för ett enskilt företag eller en region som vill säkra sin egen el- eller värmeförsörjning, t.ex. vätgasproduktion.” – R6.

Vidare påpekas behovet av bättre modeller för att kunna uppskatta de långsiktiga samhällsekonomiska effekterna:

“Det behövs också nationalekonomisk forskning om finansiering av ny kärnkraft och vilka risker som finns om man inte investerar. Många samhällsvinster blev synliga först i efterhand, som i kärnkraftskommunerna. Vi behöver bättre modeller för att uppskatta sådana effekter.” – R6.

Det saknas i nuläget tillräckligt tydliga affärsmodeller och tillförlitliga verktyg för att beräkna samhällsekonomisk nytta och risk, vilket gör det svårt för investerare och beslutsfattare att ta långsiktiga beslut om SMR.

Risker kopplade till minskad bemanning och säkerhet

Slutligen kan ekonomiska försök att sänka driftskostnader leda till nya risker. R3 varnar för konsekvenserna av ökad automation och minskad bemanning:

“Om man minskar bemanningen för kontroll och säkerhet vid SMR-anläggningar för att spara pengar ökar risken för både cyberattacker och fysiska hot.” – R3.

Sänkta driftskostnader genom minskad bemanning och ökad automation kan skapa nya typer av säkerhetsrisker, vilket i sin tur kan leda till ökade kostnader och skärpta regulatoriska krav. De ekonomiska barriärerna för SMR är både grundläggande och komplexa. Förlorade stordriftsfördelar, krav på hög produktionsvolym och osäkerhet kring affärsmodeller innebär att investerare och beslutsfattare tvekar att satsa på SMR utan tydliga garantier om lönsamhet. Intervjuerna visar att förväntningarna på ekonomiska besparingar och riskminskning måste vägas mot utmaningarna med kostnadsbild, serietillverkning och samhällsekonomiska kalkyler. Dessutom är det centralt att frågor om bemanning, automation och säkerhet hanteras proaktivt för att inte skapa nya ekonomiska och regulatoriska hinder.

4.2.3 Politiska och strategiska barriärer

Politiska och strategiska faktorer är ofta avgörande för om och hur ny kärnkraftsteknik som SMR kan realiseras i Sverige. Även om det på senare år har skett framsteg inom politisk vilja och regulatoriska reformer, visar intervjuerna att en rad kvarstående och komplexa barriärer präglar möjligheterna till implementering. Dessa hinder omfattar både lagstiftningsfrågor, praktiska lokaliseringsproblem och svårigheter att skapa långsiktiga och stabila spelregler, faktorer som påverkar såväl investerare som teknikleverantörer och samhällsaktörer. Nedan belyses de främsta politiska och strategiska barriärerna, med citat från både industri och akademi.

Regelverk, lagstiftning och tillståndprocesser

En av de tydligaste barriärerna som lyfts i intervjuerna gäller det svenska regelverket, särskilt miljöbalken och tillståndprocesserna. R5 beskriver problemen med miljöbalken och hur den begränsar möjligheterna för SMR på nya platser:

“Miljöbalken, inte så mycket kärntekniklagen, utan miljöbalken i sig. [...] Hela södra Sverige är i princip stängt för kärnkraft på kusten, utom vid Ringhals, Forsmark och de gamla ställena. Det är på grund av miljöbalken, den är så trubbigt skriven, förbjuder saker vid namn, inte med generisk lagtext.” – R5.

R1 pekar särskilt på problemen med riksintressen och planering: *“Riksintressen enligt miljöbalken är också ett stort problem, vi har väldigt många. [...] Vi vill också bygga bort från samhället på grund av planeringszoner och beredskap, men där är det naturskydd i stället.” – R1.*

R2 menar att lagarna i grunden är skrivna för stora reaktorer och därför inte passar SMR: *”Svensk lagstiftning är i dagsläget utformad för storskaliga kärnkraftsanläggningar och är inte anpassad för små modulära reaktorer. Även om lagar och regler kan ändras över tid, talar nuvarande regelverk och logik för att det i nuläget är mer fördelaktigt att bygga större anläggningar.”* – R2.

R6 lyfter fram de ekonomiska konsekvenserna av hur licensieringsprocessen är uppbyggd: *”Regulatoriska anpassningar – [...] SSM måste licensiera varje ny reaktor. [...] Om man vill bygga flera likadana SMR på samma plats måste licensieringskostnaden per enhet bli rimlig, annars blir det billigare att bygga en stor reaktor istället.”* – R6.

R5 understryker dessutom att förändringar i miljöbalken skulle krävas för att möjliggöra ny kärnkraft på fler platser:

“Rent praktiskt: Ta bort högexploaterad kust och obruten kust i miljöbalken.” – R5.

R3 påpekar behovet av långsiktighet i politiken:

“Politikerna är den stora knäckfrågan. Det behövs långsiktighet och beslut som inte bygger på tillfälliga populistiska utspel eller elpriser en enstaka säsong.” – R3.

Trubbiga och föråldrade lagar, särskilt miljöbalken, samt otydliga och kostsamma tillståndprocesser är stora hinder för SMR. Svenska regelverk är skrivna för stora reaktorer, vilket gör det svårare och dyrare att implementera små modulär kärnkraft.

Lokaliseringsfrågor, riksintressen och praktiska utmaningar

Att hitta och tillåta lämpliga platser för SMR är komplicerat av både miljöregler, riksintressen och ett stort antal praktiska frågor. R4 beskriver komplexiteten:

”Särskilt södra och mellersta Sverige har behov av ny kraftproduktion och nya industrier, men det är svårt, för det finns ingen effekt att tillgå. Att etablera kärnkraft på nya platser medför många följdfrågor: transporter av bränsle, avfall, säkerhet och evakuering, logistiska lösningar, och det ingår i tillståndsprövningen.” – R4.

R2 betonar att lokala tillstånd måste anpassas efter platsens unika förutsättningar:

”Du måste ha lokala tillstånd för att bygga på just den platsen. Ett kärnkraftverk behöver mycket kylvatten, och ibland måste man spränga tunnlar för att få in kallt vatten från havet. Sånt kan inte vara samma överallt, det är olika regler och förutsättningar på olika platser, även inom Sverige.” – R2.

R6 belyser även utmaningen med ansvarsfördelning när nya platser övervägs:

”Om t.ex. region Uppsala skulle vilja ha en SMR för fjärrvärme finns det nya utmaningar, eftersom vi aldrig haft SMR på andra platser än nära hamn eller sjö. Där kommer också frågor om ansvar, vem driver reaktorn? Är det företaget, kommunen eller regionen?” – R6.

Att hitta lämpliga platser för SMR är komplicerat och påverkas av miljöskydd, riksintressen och praktiska behov som kylvatten, transporter och ansvarsfördelning. Dessa faktorer fördröjer och fördyrar processerna.

Standardisering, internationell licensiering och serieproduktion

Den globala marknaden för SMR förutsätter att tekniken kan certifieras och licensieras på flera marknader, men skillnader i nationella regelverk gör detta svårt. R5 pekar på behovet av harmonisering:

”Eftersom dessa reaktorer är avsedda för en global marknad krävs det att de certifieras eller licensieras i varje land de ska säljas till. Om regelverken skiljer sig åt mellan exempelvis Uzbekistan, Georgien, Frankrike och Sverige måste varje enhet specialanpassas för respektive land, vilket eliminerar den ekonomiska fördelen med serietillverkning.” – R5.

R1 ser en risk med att nationell särslagstiftning kan göra internationell standardisering omöjlig:

”Tanken är att harmonisera regelverken mellan olika länder. Men risken är att om man tar fram ett internationellt regelverk, kommer varje land att vilja inkludera sina striktaste krav. Resultatet kan då bli att regelverket blir så restriktivt att det i praktiken blir omöjligt att bygga något alls.” – R1.

Det så kallade dilemmat kring serieproduktion förklaras av R2:

”Man skulle ju kunna få ner kostnaderna med serieproduktion, men grejen är att ingen vill beställa en massa enheter innan de vet att det faktiskt funkar. Så det blir liksom ett dilemma, hur ska man egentligen komma igång med serieproduktionen?” – R2.

Skillnader mellan nationella regler och certifieringar försvårar internationalisering och storskalig serieproduktion av SMR. Risk för specialanpassning av varje projekt och dilemma kring uppskalning bromsar utvecklingen.

Investeringsklimat och politisk osäkerhet

Långsiktiga och stabila regler är avgörande för att attrahera investeringar. Osäkerhet kring politiska beslut, föränderliga lagar eller tillståndsprocesser gör investerare tveksamma. R6 beskriver behovet av hållbara lösningar:

”Finansieringsmodeller är också viktiga, för att någon ska investera måste risken för att förutsättningarna ändras minimeras. Nästa regering får inte kunna riva upp tillstånd eller ändra kraven på ett sätt som påverkar finansieringen. Det behövs hållbara lösningar, annars kommer ingen vilja investera.” – R6.

R2 lyfter också fram risken för oförutsedda problem och osäkerhet i de första projekten:

“Sverige kommer sannolikt också att stöta på oväntade utmaningar i det första projektet, vilket är vanligt vid etablering av ny och tung infrastruktur”– R2.

Politiska svängningar och risk för ändrade spelregler gör investerare försiktiga. Långsiktiga och stabila villkor krävs för att stora investeringar i SMR ska bli möjliga.

Kommunikation, strategi och branschsamverkan

Slutligen lyfts brist på samordnad strategi, kommunikation och branschgemenskap som en avgörande barriär. R5 efterfrågar ett gemensamt industriorgan:

”Jag skulle vilja se ett industriorgan, en lobbyorganisation, en samling av alla som håller på med kärnkraft, inte bara Vattenfall, Fortum och Uniper, utan alla aktörer, även komponentleverantörer. En gemensam kraftsamling från industrin som verkligen förklarar för samhället varför vi behöver detta och varför det är så bra för landet.” – R5.

R3 understryker att kommunikationen ofta är reaktiv och för negativt fokuserad:

“Jag tycker man knappt hör någonting om kärnkraft, om det inte är något negativt. [...] Man behöver bli bättre på att prata neutralt om kärnkraft, inte bara när något går fel.” – R3.

Brist på samlad kommunikation, strategi och branschgemenskap gör det svårt att skapa brett samhällsstöd och politisk vilja. Industrin behöver bli bättre på att samverka och kommunicera teknikens fördelar och behov. Det finns många politiska och strategiska hinder som gör det svårt att införa SMR i Sverige. Gamla lagar, svåra frågor om var man får bygga, olika regler och osäker politik gör det krångligt att investera och planera långsiktigt. Intervjuerna visar att för att SMR ska kunna växa och bli en viktig del av energisystemet behövs både teknisk och ekonomisk utveckling, stora förändringar av lagarna, stabil politik och mer samarbete i branschen.

4.2.4 Samhälleliga barriärer

Samhälleliga aspekter spelar en avgörande roll för införandet av SMR i Sverige. Även om tekniken har potential att möta många framtida behov, möter SMR-konceptet tydliga samhälleliga utmaningar. Intervjuerna visar att dessa hinder handlar mindre om teknikens funktion än om frågor om acceptans, kunskap, kultur och synen på kärnkraftens roll i samhället. Nedan belyses de viktigaste samhälleliga barriärerna.

Bristande kommunikation och kulturell acceptans

En återkommande och genomgripande barriär är bristen på positiv och proaktiv kommunikation kring kärnkraftens samhällsnytta. Flera respondenter pekar på att diskussionen i Sverige tenderar att fokusera på risker, avfall och problem, snarare än på de möjligheter och fördelar som kärnkraften, och därmed SMR, kan erbjuda. R1 menar att brist på kommunikation är centralt för både politisk risk och lokal acceptans:

“Kommunikation och marknadsföring krävs. För att sänka den politiska risken och skapa lokal acceptans måste man börja visa fördelarna med kärnkraft, inte bara stirra sig blind på utmaningar som avfallslagring.” – R1.

R5 beskriver detta som en kulturell utmaning inom branschen:

”I Sverige pratar vi aldrig om kärnkraftens fördelar, och det är den största utmaningen med att bygga kärnkraft här. Det är en kulturell utmaning i branschen, den har varit stagnerad och förfallen under lång tid.” – R5.

Liknande reflektioner görs av R2:

”Alla säger att de vill ha kärnkraft, men få vill arbeta för det. När det verkligen gäller börjar alla prata om utmaningar och politiska risker, men vill aldrig bemöta dem eller förklara varför kärnkraft behövs. Vi pratar om utmaningar, avfall om 80 år, etc. men aldrig om vilken välfärd kärnkraften har skapat.” – R2.

Och återigen R5, som menar att Sveriges framgång med kärnkraft sällan lyfts fram i samhällsdebatten:

“Om du ser på grafer så ser du hur kärnkraftsexpansionen leder till ökat BNP och minskade koldioxidutsläpp. Alla länder kämpar med att ha ekonomisk utveckling och sänkta utsläpp, Sverige och Frankrike har redan lyckats med det, men det nämns aldrig.” – R5.

Den kanske största samhällseliga barriären är brist på positiv kommunikation och en kultur av att framhäva kärnkraftens samhällsnytta. Diskussionen domineras av problem och risker, vilket riskerar att skapa tveksamhet, passivitet och motstånd snarare än engagemang och stöd.

Svårigheter för kommuner och lokalt ansvar

En annan barriär rör osäkerhet och kunskapsbrist på kommunal nivå. Många kommuner är ovana vid kärnkraftsprojekt och har begränsad erfarenhet av vad det innebär att vara värd för en SMR-anläggning. R6 beskriver utmaningen:

”Däremot har kommunerna inte alltid koll på hur processen ser ut, vad det innebär att tillgängliggöra mark och vad det innebär att ta emot ett kärnkraftverk. Med SMR är det många entreprenörer och aktörer, det är inte samma statliga engagemang som förr. Om något går fel,

vem har ansvaret? Det är svårt för kommunerna att få överblick, så de kommer behöva mycket stöd i processen.” – R6.

Kommunerna saknar ofta resurser, erfarenhet och tydliga riktlinjer kring ansvarsfördelning och processer. Detta kan skapa tveksamhet, fördröjning och svårigheter att fatta välgrundade beslut kring SMR-projekt.

Kompetensförsörjning och utbildning

Kompetensförsörjning är en annan betydande samhällelig barriär. Sveriges och Europas kärnkraftsbransch har haft begränsad tillväxt under lång tid, vilket lett till brist på både högspecialiserad och praktisk arbetskraft. En av respondenterna uttrycker:

”Det finns ett gigantiskt behov av ny kompetens inom kärnkraftsbranschen, både i Sverige, Europa och globalt. Alla behöver inte vara fysiker eller materialvetare, det behövs också praktisk kompetens, som svetsare. Vid stora byggen behövs tusentals personer med olika kompetenser, och det är svårt att hitta dem. Man måste ha en plan för kompetensförsörjning både för enskilda och flera reaktorbyggen, och det kräver samarbete mellan utbildning, industri och forskning.” – R6.

Det finns en tydlig risk för att kompetensbrist och avsaknad av långsiktiga utbildnings- och rekryteringsstrategier blir en flaskhals för SMR-implementering. Nationell samverkan mellan industri, utbildning och myndigheter är nödvändig för att täcka behovet.

Behov av synliggörande av samhällsekonomiska effekter

Slutligen påpekas att samhället inte tillräckligt tydligt ser eller diskuterar de positiva samhällsekonomiska effekter som kärnkraft kan medföra. R2 pekar på vikten av att lyfta fram detta för att öka förståelsen och stödet för SMR:

”Visa värdet och värdeskapandet. Vi ser många metrics och studier globalt, för varje krona du investerar i kärnkraft får samhället tillbaka fyra kronor. [...] Allt detta ger tillbaka till samhället i form av skattepengar” – R2.

Att synliggöra de bredare samhällsekonomiska vinsterna av SMR, exempelvis jobb, skatteintäkter och klimatnytta, är avgörande för att bygga långsiktigt samhällsstöd. De samhällseliga barriärerna visar att utmaningarna för SMR i Sverige inte enbart är tekniska eller ekonomiska, utan i högsta grad handlar om acceptans, kunskap, kompetens och narrativ. Dessa frågor är avgörande för att skapa det stöd och den förståelse som behövs för långsiktiga och framgångsrika satsningar.

5. Diskussion

Detta kapitel diskuterar och analyserar de empiriska resultaten i förhållande till tidigare forskning. Diskussionen är strukturerad utifrån studiens forskningsfrågor, där respektive avsnitt belyser både drivkrafter och barriärer samt relaterar dessa till existerande litteratur. Kapitlet avslutas med en kritisk reflektion kring studiens metodologiska styrkor och begränsningar.

5.1 Vilka drivkrafter uppfattas som betydelsefulla för att främja implementeringen av SMR i Sverige?

De empiriska resultaten identifierar flera drivkrafter för SMR-implementering i Sverige. Tabell 4 sammanfattar dessa drivkrafter, deras beskrivning, typ av bidragande, koppling till tidigare forskning samt relevanta referenser. I kolumnen ”Typ av bidragande” avses hur empirin förhåller sig till den identifierade drivkraften: ”Bekräftar” innebär att den styrker drivkraften som den definierats i litteraturen, medan ”Bekräftar och utvecklar” innebär att den både bekräftar och tillför ny information eller nya nyanser.

Tabell 4: Identifierade drivkrafter för implementering av SMR i Sverige (Sammanställd av författarna)

Identifierade drivkrafter	Beskrivning	Typ av bidragande	Referenser
Systemintegration och lokal nytta	SMR möjliggör integrering med lokala energisystem, industri och fjärrvärme, vilket skapar mervärde lokalt och regionalt.	Bekräftar och utvecklar	Singh (2024); IAEA (2024)
Säkerhetsfördelar och robusthet	Passiva säkerhetssystem, mindre bränslevolymer och robust design ökar säkerheten och minskar risker vid drift.	Bekräftar och utvecklar	Lewis et al. (2012); Mascari et al. (2023); NEA (2021)
Modularitet, standardisering och byggbarhet	Fabrikstillverkade moduler och standardiserade processer minskar byggtid, kostnader och förenklar uppskalning.	Bekräftar	NEA (2024); Van Hee et al. (2024); Locatelli et al. (2014)
Teknologisk mognad och internationell utveckling	Snabb FoU-utveckling internationellt samt demonstration i andra länder driver på teknikens trovärdighet.	Bekräftar	IAEA (2024)
Minskad finansiell risk och förbättrat kassaflöde	Lägre initial investering och möjlighet till stegvis utbyggnad minskar riskexponering för investerare och aktörer.	Bekräftar och utvecklar	Van Hee et al. (2024); WSP (2023)
Lokaliseringsflexibilitet och undvikande av överföringskostnader	Möjlighet att placera SMR nära förbrukare/industri minskar behov av ny nätinfrastuktur och överföringsförluster.	Bekräftar	Håkansson (2024); WSP (2023)
Modularitet och möjlig standardisering (produktionsekonomi)	Serieproduktion och standardisering ger kostnadsbesparingar och kortare ledtider.	Bekräftar	NEA (2024); Van Hee et al. (2024)
Förbättrade politiska och regulatoriska villkor	Politiska beslut och lagändringar har förbättrat förutsättningarna för ny kärnkraft och SMR i Sverige.	Bekräftar	Håkansson (2024); Regeringen (2023)

Sveriges roll i ett internationellt och strategiskt sammanhang	Sverige har möjlighet att bidra till internationell standardisering och teknikutveckling genom samverkan och FoU.	Bekräftar och utvecklar	Håkansson (2024); IAEA (2024)
Drivkraft mot internationell standardisering	Harmonisering av regler och typgodkännande underlättar export, samarbete och investeringar.	Bekräftar	IAEA (2024); NEA (2021)
Ökad allmän entusiasm och acceptans	Opinionen i Sverige har blivit mer positiv till kärnkraft och SMR, vilket stärker legitimiteten för nya satsningar.	Bekräftar och utvecklar	WSP (2023)
Lokalt stöd och möjligheter för kommuner	Kommuner ser SMR som ett verktyg för lokal utveckling, nya jobb och säkrad energiförsörjning.	Bekräftar och utvecklar	U.S. Dept. of Energy (u.å.)
Anpassning till samhällsnytta och breddad användning	SMR kan anpassas för flera användningsområden, t.ex. fjärrvärme, vätgasproduktion, processvärme.	Bekräftar och utvecklar	IAEA (2022); Singh (2024)

5.1.1 Tekniska drivkrafter

En av de mest framträdande tekniska drivkrafterna som har identifierats är potentialen för systemintegration och lokal nytta vid implementeringen av SMR. Det empiriska materialet pekar på möjligheten att integrera SMR med lokala energisystem och industriella verksamheter, vilket även understryks i tidigare litteratur (Singh, 2024; IAEA, 2024). En sådan integration kan innebära ökad flexibilitet och potentiella synergieffekter för såväl energisystemet som näringslivet på lokal nivå. Denna drivkraft är särskilt relevant i den svenska kontexten, där industrins elektrifiering och regionala effektbrist skapar ett tydligt behov av stabila och lokalt förankrade energikällor. Dock råder fortfarande viss osäkerhet kring i vilken utsträckning dessa nyttor faktiskt kan realiseras i praktiken, särskilt i svensk kontext, vilket indikerar behovet av fortsatta studier för att bekräfta dessa resultat.

Flera av studiens respondenter samt tidigare forskning (Lewis et al., 2012; Mascari et al., 2023; NEA, 2021) betonar säkerhetsfördelar som en central drivkraft för SMR-teknikens utveckling. Passiva säkerhetssystem och mindre reaktorstorlekar bedöms kunna bidra till en robust och säker drift. Denna uppfattning bekräftas även av intervjuvärderna, där trygghet och minskad risk för allvarliga incidenter framhålls som avgörande faktorer för såväl myndigheter som potentiella investerare. Säkerhetsaspekten har särskild tyngd i den svenska debatten, där kärnkraftens säkerhet traditionellt utgjort en central fråga. Samtidigt framhålls att långtidserfarenheter och driftdata för SMR fortfarande är begränsade, vilket innebär att vissa säkerhetsaspekter återstår att fullt ut verifiera. Detta understryker behovet av fortsatt forskning och demonstrationsprojekt för att validera säkerhetsfördelarna i praktisk drift.

Ett återkommande tema i såväl intervjumaterialet som den vetenskapliga litteraturen (NEA, 2024; Van Hee et al., 2024; Locatelli et al., 2014) är SMR-teknikens modularitet och möjligheter till standardisering. Respondenterna framhåller att dessa egenskaper kan underlätta byggprocessen och möjliggöra serieproduktion, vilket i teorin kan leda till kostnadsbesparingar

och en effektivare utbyggnad av kapacitet. Detta är särskilt relevant i den svenska kontexten, där erfarenheter från tidigare kärnkraftsprojekt visat på utmaningar med långa byggtider och betydande kostnadsöverskridanden. Samtidigt påpekas att effekterna av modularitet är beroende av marknadsvolymer och leverantörskedjors utveckling, och att praktisk erfarenhet av storskalig produktion och installation av SMR hittills är begränsad. Detta belyser vikten av internationellt samarbete och kunskapsutbyte för att realisera den fulla potentialen av modularitet och standardisering.

Den internationella utvecklingen av SMR beskrivs även som en betydande drivkraft i svensk kontext, då demonstrationer och pilotprojekt i andra länder kan bidra till ökad legitimitet och minska osäkerheten kring teknologin (IAEA, 2024). Flera respondenter menar att internationella framsteg kan fungera som referenspunkter och påskynda implementeringen i Sverige. Detta ligger i linje med teorier om teknikspridning och innovation, där tidiga användare och demonstrationsprojekt spelar en avgörande roll för att reducera osäkerheter och risker för efterföljande aktörer. Samtidigt framhålls att skillnader i lagstiftning, elmarknadsstruktur och andra nationella förutsättningar kan innebära att internationella erfarenheter inte alltid är direkt överförbara till den svenska kontexten. Detta understryker behovet av att anpassa internationella lärdomar till svenska förhållanden samt att utveckla lokalt anpassade implementeringsstrategier.

5.1.2 Ekonomiska drivkrafter

Ekonomiska faktorer, såsom minskad finansiell risk genom lägre initiala investeringskostnader och möjligheten till stegvis utbyggnad, anges som betydande drivkrafter för SMR (Van Hee et al., 2024; WSP, 2023). Flera av studiens respondenter framhåller att dessa egenskaper potentiellt kan göra SMR attraktivt för en bredare krets av aktörer, inklusive mindre energibolag och industriföretag. Detta utgör en viktig förändring jämfört med traditionell kärnkraft, där mycket stora investeringar ofta krävs, vilket i sin tur begränsar antalet potentiella investerare. I en svensk kontext, där energimarknaden karaktäriseras av både stora och små aktörer, kan en breddad investerarbas få särskilt stor betydelse. Samtidigt pekar både intervjuer och litteratur på att kostnadsbilden för SMR fortfarande präglas av betydande osäkerhet, särskilt vad gäller de första anläggningarna, och att investeringsriskerna därmed inte kan elimineras helt. Detta understryker behovet av tydliga finansieringsmodeller och eventuellt statligt stöd under de inledande faserna av teknologiintroduktionen.

Både respondenter och tidigare studier (Håkansson, 2024; WSP, 2023) lyfter fram möjligheten att placera SMR nära större förbrukare eller industriella verksamheter som en potentiell fördel, då detta kan minska behovet av omfattande nätutbyggnad och därmed sänka överföringskostnaderna. Denna flexibilitet anses vara särskilt relevant i regioner med växande industriella behov, en fråga som är högaktuell i Sverige med pågående industrisatsningar i norra delen av landet och kapacitetsbrist i södra delarna. Möjligheten till flexibel lokalisering kan dessutom bidra till regional utveckling och minska sårbarheten i energisystemet genom en geografiskt spridd produktionskapacitet. Samtidigt kvarstår dock vissa regulatoriska och tekniska utmaningar kring lokalisering, vilket kan begränsa denna fördel. Särskilt miljöbalkens

bestämmelser om riksintressen och skyddade områden kan försvåra möjligheterna att fullt ut utnyttja lokaliseringsflexibiliteten i praktiken.

Drivkraften kring produktionsekonomi och standardisering vilar på förväntningar om lägre produktionskostnader genom serieproduktion av standardiserade moduler (NEA, 2024; Van Hee et al., 2024). Respondenterna uttrycker att detta skulle kunna möjliggöra ett mer effektivt resursutnyttjande och snabbare implementering av tekniken. Denna aspekt är särskilt intressant ur ett svenskt perspektiv, där den industriella kompetensen inom avancerad tillverkning skulle kunna nyttjas för att utveckla en inhemsk leverantörskedja för SMR-komponenter. Samtidigt konstateras att de fulla effekterna av denna standardisering ännu inte har kunnat påvisas i praktiken, eftersom stora delar av tekniken fortfarande befinner sig i pilot- eller demonstrationsfasen. Detta pekar på behovet av fortsatt forskning och utveckling för att validera antagandena kring produktionsekonomi och standardisering samt att identifiera vilka delar av värdekedjan som är mest lämpade för svensk industri att engagera sig i.

5.1.3 Politiska, strategiska och samhällsliga drivkrafter

Lagändringar och politiska beslut som underlättar nya kärnkraftsprojekt framhålls i både denna studie och tidigare litteratur som centrala drivkrafter (Håkansson, 2024; Regeringen, 2023). Flera respondenter betonar att tydliga och långsiktiga spelregler utgör en förutsättning för investeringar i SMR. Den senaste tidens politiska utveckling i Sverige, med ökad acceptans för kärnkraft över blockgränserna och konkreta lagändringar som möjliggör ny kärnkraft, har skapat ett mer gynnsamt klimat för utvecklingen av SMR. Samtidigt kvarstår viss osäkerhet kring den framtida politiska viljan samt hur snabbt nödvändiga anpassningar av regelverk kan genomföras, vilket kan påverka implementeringstakten. Detta understryker vikten av breda politiska överenskommelser och långsiktiga strategier för att skapa stabilitet och förutsägbarhet för investerare och andra berörda aktörer.

Möjligheten för Sverige att delta i och bidra till internationell standardisering och utveckling av SMR lyfts fram som en betydande drivkraft av flera aktörer samt i forskningen (Håkansson, 2024; IAEA, 2024). Respondenter menar att detta kan gynna både svensk industri och forskning, men framhåller samtidigt att det förutsätter strategiska satsningar och samverkan mellan olika samhällssektorer. Sveriges historiska erfarenhet av kärnkraftsutveckling och landets starka ställning inom forskning och innovation bedöms skapa goda förutsättningar för att spela en aktiv roll i den internationella utvecklingen av SMR. Dock råder viss osäkerhet om hur stort inflytande Sverige kan få i internationella processer, särskilt med tanke på den svenska marknadens relativt begränsade storlek. Detta pekar på vikten av strategiska allianser och samarbeten med andra länder och internationella organisationer för att maximera Sveriges möjligheter och utbyte av den internationella utvecklingen.

Internationell harmonisering av regelverk och typgodkännande beskrivs av såväl intervjupersoner som forskare (IAEA, 2024; NEA, 2021) som en viktig drivkraft, då detta skulle kunna minska osäkerheter, sänka kostnader och förenkla exportmöjligheter. En sådan harmonisering kan möjliggöra storskalig produktion och effektivare licensieringsprocesser, vilket är centralt för SMR-konceptets ekonomiska bärkraft. I praktiken återstår dock flera

utmaningar kopplade till hur standardisering ska genomföras på ett sätt som fungerar mellan olika nationella regelverk. Detta kräver ett aktivt engagemang från både myndigheter och industri för att driva harmoniseringsprocessen och säkerställa att svenska intressen och säkerhetskrav beaktas i internationella standarder.

Det finns indikationer, både i denna studie och i tidigare opinionsundersökningar (WSP, 2023), på att acceptansen för SMR har ökat i Sverige under de senaste åren. Flera respondenter menar att denna ökade acceptans kan underlätta politiska beslut och investeringar. Acceptansen bedöms delvis bero på ett förändrat samhällsklimat där klimatfrågan och energisäkerhet fått större betydelse, vilket har lett till en omvärdering av kärnkraftens roll i energisystemet. Samtidigt påpekas att opinionen är föränderlig och att acceptansen till viss del är villkorad av fortsatt transparens och säker kommunikation kring tekniken. Detta understryker vikten av proaktiv och faktabaserad kommunikation om såväl möjligheter som utmaningar med SMR, för att upprätthålla och stärka det samhälleliga stödet.

Ytterligare en identifierad drivkraft är det potentiella lokala stödet samt de möjligheter SMR kan skapa för kommuner, bland annat genom nya arbetstillfällen och stärkt energiförsörjning (U.S. Dept. of Energy, u.å.). Flera respondenter ser SMR som en möjlighet till lokal utveckling, särskilt i regioner med industriella behov eller utmaningar kopplade till avfolkning. Detta ligger i linje med internationella erfarenheter, där kärnkraftsanläggningar ofta bidrar till lokal ekonomisk tillväxt och sysselsättning. Det framhålls vidare att tidig dialog och involvering av lokalsamhället är avgörande för att skapa och bibehålla långsiktigt stöd. Detta tydliggör behovet av inkluderande processer och tydlig kommunikation om såväl fördelar som risker med SMR-etableringar, för att säkerställa lokalt stöd och legitimitet.

Slutligen framhålls möjligheten att använda SMR för flera ändamål, såsom elproduktion, fjärrvärme, vätgasframställning och processvärme, som en viktig drivkraft i både intervjuer och litteratur (IAEA, 2022; Singh, 2024). Denna mångsidighet bedöms kunna bidra till ökad samhällsnytta och stärkt systemintegration, särskilt i den svenska kontexten där fjärrvärmenätet är väl utbyggt och industrins behov av processvärme och vätgas väntas öka. En bredare användning kan även förbättra ekonomin i SMR-projekt genom att skapa fler intäcksströmmar och ett högre kapacitetsutnyttjande. I vilken utsträckning SMR kommer att användas brett återstår dock att se, då detta påverkas av såväl tekniska som ekonomiska faktorer. Det understryker behovet av fortsatt forskning och utveckling kring olika användningsområden för SMR, liksom av analyser av hur dessa kan integreras i befintliga energi- och industrisystem på ett optimalt sätt.

5.2 Vilka barriärer uppfattas som är kritiska för att försvåra implementeringen av SMR i Sverige?

Trots de många identifierade drivkrafterna finns betydande barriärer som kan försvåra eller fördröja SMR-implementering i Sverige. Tabell 5 sammanfattar dessa barriärer, deras beskrivning, typ av bidragande, koppling till tidigare forskning samt relevanta referenser. Begreppet ”Typ av bidragande” används här på samma sätt som förklarats före **Tabell 4**.

Tabell 5: Identifierade barriärer för implementering av SMR i Sverige (Sammanställd av författarna)

Identifierade barriärer	Beskrivning	Typ av bidragande	Referenser
Teknikkulturella och regulatoriska hinder	Existerande regelverk och etablerade arbetssätt är främst anpassade till traditionell kärnkraft och kan försvåra införandet av SMR.	Bekräftar och utvecklar	Sam et al. (2023); Håkansson (2024)
Bränsle- och avfallshantering	Osäkerheter kring hantering och slutförvaring av nytt bränsle och radioaktivt avfall från SMR, särskilt för nya reaktortyper.	Bekräftar	NEA (2021); Van Hee et al. (2024)
Leveranskedja, byggbarhet och skalbarhet	Brist på etablerad leveranskedja och begränsad industriell kapacitet kan leda till förseningar och ökade kostnader.	Bekräftar	Mignacca et al. (2020)
Drift, underhåll och långsiktigt kunskaps	Begränsad driftserfarenhet och långsiktigt underhållskunskaps kring SMR jämfört med konventionella reaktorer.	Bekräftar och utvecklar	Mascari et al. (2023); IAEA (2022)
Utmaningar kopplade till avancerade reaktortyper	Avancerade reaktordesigner, t.ex. bly- eller gaskyllda SMR, saknar driftserfarenhet och kräver ny kunskap och infrastruktur.	Bekräftar	NEA (2021)
Elnät och systemintegration	SMR:s integration i befintliga elnät kan innebära tekniska utmaningar, särskilt vid decentraliserad produktion och laststyrning.	Bekräftar	Singh (2024)
Förlorade stordriftsfördelar och höga fasta kostnader	Mindre reaktorer kan innebära högre kostnad per producerad kWh om inte tillräcklig volym/serietillverkning uppnås.	Bekräftar	Mignacca et al. (2020); Van Hee et al. (2024)
Osäkerhet kring kostnader, serietillverkning och volymkrav	Ekonomisk osäkerhet kring lärandeeffekter, produktionsvolym och möjligheter till kostnadsbesparingar vid SMR.	Bekräftar	NEA (2024)
Brist på tydliga affärs- och ekonomiska modeller	Osäkerhet kring lönsamhet, investeringsmodeller och affärsupplägg för SMR-projekt i svensk kontext.	Bekräftar och utvecklar	WSP (2023)
Risker kopplade till minskad bemanning och säkerhet	Automatisering och reducerad bemanning kan skapa nya risker för drift och säkerhet om processerna inte är tillräckligt utvecklade.	Bekräftar	IAEA (2022); Mascari et al. (2023)
Regelverk, lagstiftning och tillståndsprocesser	Långa och komplexa tillståndsprocesser, särskilt vid nya typer av reaktorer och fabriksproducerade moduler.	Bekräftar	Håkansson (2024);

Lokaliseringsfrågor, riksintressen och praktiska utmaningar	Konkurrens om mark, samhällsplanering och olika riksintressen kan försvåra val av lokalisering för SMR.	Bekräftar	WSP (2023)
Standardisering, internationell licensiering och serieproduktion	Brist på globala standarder och godkännandeprocesser för SMR begränsar export och effektivisering.	Bekräftar och utvecklar	IAEA (2024); NEA (2021)
Investeringsklimat och politisk osäkerhet	Osäker politisk vilja, energipolitiska förändringar och risk för ändrade stödsystem kan avskräcka investeringar.	Bekräftar	Mignacca et al. (2020)
Kommunikation, strategi och branschsamverkan	Bristande samverkan och otydlig strategi inom branschen försvårar utveckling och introduktion av SMR.	Bekräftar och utvecklar	Håkansson (2024)
Bristande kommunikation och kulturell acceptans	Osäkerhet och brist på information kan leda till motstånd hos allmänheten och svagare social acceptans.	Bekräftar och utvecklar	NEA (2021); WSP (2023)
Svårigheter för kommuner och lokalt ansvar	Kommuner kan uppleva utmaningar med kompetens, ansvarsfördelning och långsiktigt engagemang kring SMR.	Bekräftar och utvecklar	U.S. Dept. of Energy (u.å.)
Kompetensförsörjning och utbildning	Brist på utbildad personal inom kärnteknik och svårigheter att rekrytera och behålla kompetens i Sverige.	Bekräftar	Håkansson (2024); IAEA (2022)
Behov av synliggörande av samhällsekonomiska effekter	Brist på tydliga analyser och kommunikation om SMR:s samhällsekonomiska nytta kan påverka legitimitet och stöd.	Bekräftar och utvecklar	WSP (2023)

5.2.1 Tekniska barriärer

Ett återkommande tema i såväl intervjuer som litteratur är de teknikkulturella och regulatoriska hinder som kan påverka implementeringen av SMR. Nuvarande regelverk är i stor utsträckning utformade för traditionell kärnkraft, vilket kan skapa betydande utmaningar för nya tekniska lösningar och arbetssätt (Sam et al., 2023; Håkansson, 2024). Studiens respondenter framhåller att både administrativa processer och etablerade normer inom branschen riskerar att förlänga ledtider och skapa osäkerhet för investerare. Detta är särskilt relevant i en svensk kontext, där kärnkraftsregleringen under lång tid utvecklats med fokus på stora reaktorer och där myndigheter som Strålsäkerhetsmyndigheten kan behöva anpassa sina processer och kompetenser för att hantera nya reaktortyper. Detta ligger i linje med tidigare forskning som pekar på behovet av regelverksutveckling för att möta nya teknologier. För att övervinna denna barriär krävs en proaktiv dialog mellan myndigheter, industri och forskningsaktörer för att i ett tidigt skede identifiera och adressera regulatoriska hinder.

Hantering av bränsle och radioaktivt avfall lyfts såväl i denna studie som i litteraturen fram som en potentiell barriär för SMR (NEA, 2021; Van Hee et al., 2024). För nya reaktortyper saknas ofta etablerade rutiner för avfallshantering och slutförvaring. Flera respondenter framhåller att det råder osäkerhet kring hur existerande system kan behöva anpassas eller utökas för att möta SMR-teknikens krav. I Sverige, där frågan om slutförvaring för konventionellt kärnbränsle nyligen fått en lösning efter en långdragen process, kan nya avfallstyper från SMR innebära ytterligare komplexitet. Detta kan påverka både kostnadsnivåer och tillståndprocesser. För att hantera denna barriär krävs tidiga analyser av avfallsströmmar

från olika SMR-tekniker och proaktiv planering för hur dessa kan integreras i befintliga eller nya system för avfallshantering.

Etableringen av fungerande leveranskedjor och tillräcklig produktionskapacitet identifieras ofta som en utmaning i samband med SMR (Mignacca et al., 2020). Respondenter betonar att avsaknaden av etablerade tillverknings- och leveransprocesser kan leda till förseningar, ökade kostnader och osäkerheter kring uppskalning. Detta är särskilt relevant i en europeisk och svensk kontext, där kärnkraftsindustrin under lång tid har haft begränsad tillväxt och många leverantörer har försvunnit eller bytt inriktning. Detta bekräftas även i litteraturen, där det konstateras att det idag finns få leverantörer med erfarenhet av serietillverkning av SMR-komponenter. För att övervinna denna barriär krävs strategiska satsningar på att utveckla industriell kapacitet och kompetens, samt internationellt samarbete för att dela resurser och erfarenheter.

Den begränsade driftserfarenheten av SMR-teknik medför osäkerheter kring långsiktigt underhåll och kompetensförsörjning (Mascari et al., 2023; IAEA, 2022). Flera aktörer påpekar att det fortfarande saknas heltäckande kunskap om drift, underhåll och optimering av dessa nya reaktorer. Detta är särskilt relevant i Sverige, där befintlig kärnkraftskompetens är anpassad till stora reaktorer och där generationsväxling pågår inom branschen. Detta kan i förlängningen påverka både säkerheten och ekonomin i SMR-projekt. För att hantera denna barriär krävs investeringar i utbildning, träning och kunskapsöverföring samt utveckling av nya metoder och verktyg för drift och underhåll anpassade till SMR-teknik.

Avancerade reaktortyper, såsom bly- eller gaskylda SMR, bedöms innebära ytterligare komplexitet (NEA, 2021). Respondenter menar att dessa koncept kräver ny infrastruktur, specialiserad utbildning samt anpassning av både regelverk och branschpraxis. Även om tekniken har potentiella fördelar, framhålls osäkerheten kring teknisk mognad som en betydande barriär. I en svensk kontext, där erfarenheten främst gäller lättvattenreaktorer, kan införandet av nya reaktortyper innebära särskilda utmaningar. För att överkomma denna barriär krävs riktade forsknings- och utvecklingsinsatser samt internationellt samarbete för att dela erfarenheter och resurser kring dessa nya tekniker.

Integrationen av SMR i det befintliga elnätet innebär specifika tekniska utmaningar, särskilt vid en ökad decentralisering av elproduktionen (Singh, 2024). Respondenter påpekar att effekter på nätstabilitet, överföringskapacitet och styrsystem behöver utredas vidare för att undvika störningar eller ineffektiva investeringar. Detta är särskilt aktuellt i Sverige, där elnätet står inför betydande utmaningar med kapacitetsbrist och behov av omfattande investeringar. Även denna barriär uppmärksammas i litteraturen. För att hantera utmaningen krävs systemstudier och pilotprojekt för att utvärdera hur SMR bäst kan integreras i det svenska elsystemet, samt utveckling av nya metoder och tekniker för nätintegration och systemtjänster.

5.2.2 Ekonomiska barriärer

I såväl intervjuer som litteraturstudier (Mignacca et al., 2020; Van Hee et al., 2024; NEA, 2024) lyfts risken att SMR kan medföra högre produktionskostnader per kWh, särskilt om inte

tillräckliga volymer för serietillverkning uppnås. Mindre reaktorer saknar vissa av de stordriftsfördelar som kännetecknar traditionell kärnkraft, vilket innebär att konkurrenskraften kan påverkas negativt om inte kostnadsbesparingar genom standardisering och lärandeeffekter realiserats. Denna osäkerhet kring faktiska kostnader och ekonomi förstärks av att det fortfarande finns få realiserade SMR-projekt som kan användas som referens för att verifiera antagandena. Detta utgör en särskilt stor utmaning i Sverige, där elmarknaden är konkurrensutsatt och erfarenheten av nya kärnkraftsprojekt är begränsad. För att hantera denna barriär krävs dels strategier för att säkra tillräckliga volymer, exempelvis genom internationellt samarbete, dels transparenta kostnadsanalyser, erfarenhetsutbyte från internationella pilotprojekt samt utveckling av affärsmodeller och riskdelningsmekanismer för att hantera ekonomiska osäkerheter, särskilt under teknikens inledande faser.

En återkommande barriär enligt både intervjuer och litteratur (WSP, 2023) är avsaknaden av etablerade affärs- och finansieringsmodeller för SMR-projekt. Respondenter beskriver en osäkerhet kring hur investeringar ska fördelas, vilka aktörer som kan ta ekonomiskt ansvar och hur intäktströmmar kan säkras över tid. Detta är särskilt relevant i Sverige, där energimarknaden är avreglerad och statens roll i energiinvesteringar är mer begränsad än i många andra länder. Detta kan påverka investeringsviljan negativt. För att hantera denna barriär krävs utveckling av nya affärsmodeller anpassade till SMR-teknikens specifika egenskaper, samt en analys av hur olika finansieringsmekanismer och riskdelningsarrangemang kan utformas för att attrahera investeringar.

Automatisering och minskad bemanning är centrala delar av SMR-konceptet i syfte att sänka kostnader, men flera aktörer påpekar att detta kan medföra nya risker kring säkerhet och kompetens (IAEA, 2022; Mascari et al., 2023). Detta är särskilt relevant i Sverige, där säkerhetskraven är höga och det råder en stark tradition av mänsklig övervakning och kontroll inom kärnkraften. Litteraturen betonar vikten av att dessa aspekter hanteras omsorgsfullt för att undvika oönskade konsekvenser under driftskedet. För att möta denna barriär krävs utveckling av nya säkerhetsfilosofier och metoder för att balansera automatisering med mänsklig kontroll, samt investeringar i utbildning och träning för att säkerställa att personalen har rätt kompetens att hantera nya system och processer.

5.2.3 Politiska, strategiska och samhällsliga barriärer

Långa och komplexa tillståndprocesser framhålls som en betydande barriär för SMR-implementering, både i denna studie och i tidigare forskning (Håkansson, 2024). Respondenter påpekar att nuvarande processer är utformade för stora reaktorer och därför kan vara svåra att anpassa till SMR-teknikens specifika egenskaper, såsom fabriksproduktion och modularitet. Detta är särskilt relevant i en svensk kontext, där tillståndprocesser för kärnkraft historiskt har varit omfattande och tidskrävande. För att hantera denna barriär krävs en översyn och anpassning av regelverk och processer, samt tidig dialog mellan myndigheter och industri för att identifiera och åtgärda potentiella hinder.

Lokaliseringsfrågor, riksintressen och praktiska utmaningar utgör ytterligare viktiga barriärer för SMR-implementering (WSP, 2023). Respondenter beskriver hur konkurrens om mark, olika riksintressen och praktiska infrastrukturkrav kan begränsa möjligheterna att finna lämpliga platser för SMR. Detta är särskilt relevant i Sverige, där miljöbalken och andra regelverk ställer höga krav på lokalisering av kärntekniska anläggningar, samtidigt som många kustområden är skyddade av olika skäl. För att övervinna denna barriär krävs tidiga och systematiska lokaliseringsanalyser, samt dialog med relevanta myndigheter och kommuner för att identifiera lämpliga platser och hantera potentiella konflikter.

Brist på globala standarder och harmoniserade godkännandeprocesser framhålls också som en betydande barriär för SMR-utveckling (IAEA, 2024; NEA, 2021). Respondenter menar att skillnader i nationella regelverk kan försvåra internationell handel och samarbete kring SMR, vilket kan begränsa möjligheterna till storskalig produktion och kostnadseffektivitet. Detta är särskilt relevant för Sverige, som utgör en liten marknad och därför är beroende av internationell samverkan för att realisera SMR-teknikens potential. För att hantera denna barriär krävs ett aktivt deltagande i internationella standardiseringsprocesser samt bilateralt och multilateralt samarbete för att harmonisera regelverk och godkännandeprocesser.

Politisk osäkerhet och ett föränderligt investeringsklimat lyfts vidare som en betydande barriär för långsiktiga investeringar i SMR (Mignacca et al., 2020). Respondenter beskriver hur osäkerhet kring framtida energipolitik, stödsystem och regelverk kan avskräcka investerare från att satsa på SMR-projekt. Detta är särskilt relevant i Sverige, där energipolitiken historiskt varit polariserad och där förändringar i politisk inriktning kan påverka förutsättningarna för kärnkraften. För att hantera denna barriär krävs breda politiska överenskommelser och långsiktiga strategier för energisystemets utveckling, samt tydliga och stabila ramverk för investeringar i ny kärnkraft.

Bristande samverkan och otydlig strategi inom branschen identifieras som ytterligare en barriär för SMR-utveckling (Håkansson, 2024). Respondenter framhåller att avsaknad av en gemensam vision, koordinering och kommunikation kan försvåra mobiliseringen av resurser och kompetens för att driva utvecklingen framåt. Detta är särskilt relevant i Sverige, där kärnkraftsbranschen är relativt liten och fragmenterad jämfört med många andra länder. För att möta denna barriär krävs stärkta samverkansplattformar och nätverk, samt utveckling av gemensamma strategier och färdplaner för SMR-implementering.

Bristande kommunikation och kulturell acceptans pekas ut som en samhällelig barriär för SMR-implementering (NEA, 2021; WSP, 2023). Respondenter beskriver hur osäkerhet och brist på information kan skapa motstånd och misstro hos allmänheten, vilket kan försvåra politiska beslut och lokala tillståndsprocesser. Detta är särskilt relevant i Sverige, där kärnkraftsfrågan historiskt varit kontroversiell och där det råder skilda uppfattningar om teknikens roll i framtidens energisystem. För att hantera denna barriär krävs proaktiv och transparent kommunikation kring både möjligheter och utmaningar med SMR, samt dialog med olika intressentgrupper för att bygga förtroende och legitimitet.

Kommunernas utmaningar kring kompetens, ansvarsfördelning och långsiktigt engagemang lyfts även som en barriär för lokal förankring av SMR-projekt (U.S. Dept. of Energy, 2025). Respondenter påpekar att kommuner ofta upplever osäkerhet kring vad det innebär att vara värd för en SMR-anläggning samt vilka resurser och kompetenser som krävs för att hantera processen. Detta är särskilt betydelsefullt i Sverige, där kommunerna har stort inflytande över markanvändning och där lokal acceptans är avgörande för framgångsrik implementering. För att möta denna barriär krävs stöd och vägledning till kommuner, samt utveckling av modeller för ansvarsfördelning och samverkan mellan olika aktörer.

Kompetensförsörjning och utbildning framhålls vidare som en kritisk barriär för SMR-implementering (Håkansson, 2024; IAEA, 2022). Respondenter beskriver hur brist på utbildad personal inom kärnteknik och relaterade områden kan begränsa möjligheterna att utveckla, bygga och driva SMR-anläggningar. Detta är särskilt relevant i Sverige, där kärnteknisk utbildning och forskning har minskat under en längre period och där konkurrensen om teknisk kompetens är hård. För att hantera denna barriär krävs strategiska satsningar på utbildning, forskning och kompetensutveckling samt åtgärder för att attrahera och behålla talang inom sektorn.

Slutligen lyfts behovet av att synliggöra de samhällsekonomiska effekterna som en viktig barriär för SMR-implementering (WSP, 2023). Respondenter menar att brist på tydliga analyser och kommunikation om SMR:s bredare samhällsnytta kan begränsa det politiska och allmänna stödet för tekniken. Detta är särskilt relevant i Sverige, där energipolitiska beslut ofta grundas på omfattande samhällsekonomiska överväganden. För att hantera denna barriär krävs utveckling av metoder och verktyg för att analysera och kommunicera SMR:s samhällsekonomiska effekter, samt dialog med olika intressentgrupper om teknikens roll i samhällsutvecklingen.

5.3 Metodreflektion

En reflekterande granskning av studiens metodologiska val synliggör både de styrkor och begränsningar som har format resultaten och analysen av aktörsperspektiv på drivkrafter och barriärer för implementeringen av SMR i Sverige. Den kvalitativa ansatsen, med semistrukturerade intervjuer och tematisk analys enligt Braun och Clarke (2006), valdes för att möjliggöra en djupgående och nyanserad förståelse av aktörernas erfarenheter, tolkningar och resonemang kring SMR-teknikens möjligheter och utmaningar.

En av metodens främsta styrkor är dess förmåga att fånga de subjektiva betydelser och den komplexitet som präglar sociala fenomen i tekniskt innovativa och politiskt känsliga kontexter. Genom att intervjua personer i både industriella och akademiska nyckelpositioner erhöles en variation av perspektiv som speglar såväl praktiska som teoretiska insikter om SMR-utvecklingen. Den abduktiva forskningsstrategin, där litteratur och empiri fick samverka under processens gång, bidrog dessutom till öppenhet inför oväntade teman och möjliggjorde fördjupade tolkningar av aktörernas utsagor. Sammantaget stärkte detta studiens förmåga att belysa både explicita och mer dolda faktorer som påverkar implementeringen av SMR.

Valet av tematisk analys som huvudsaklig metod för dataanalys innebar en systematisk och transparent process för att identifiera och strukturera teman relaterade till drivkrafter och barriärer. Den kombinerade användningen av deduktiva teman hämtade från tidigare forskning samt induktiv kodning av intervjumaterialet innebar att analysramen var både teoretiskt förankrad och empiriskt flexibel. Detta tillvägagångssätt underlättade identifieringen av såväl förväntade som oväntade mönster i materialet, vilket ökade analysens djup och relevans.

Trots dessa styrkor finns även metodologiska begränsningar att beakta. Det tvärsnittliga upplägget innebär att studien fångar aktörernas uppfattningar vid ett specifikt tillfälle, vilket inte möjliggör analys av hur dessa perspektiv kan förändras över tid. Därmed begränsas förståelsen för dynamiska processer och eventuella förskjutningar i attityder eller drivkrafter i takt med att SMR-teknologin och dess ramverk utvecklas.

Vidare präglades urvalet av respondenter av praktiska begränsningar, där det, trots riktade ansträngningar, endast var möjligt att intervjua personer från akademi och industri. Avsaknaden av representanter från myndigheter, civilsamhällesaktörer och uttalade anti-SMR-perspektiv innebär att vissa synsätt och potentiella drivkrafter eller barriärer riskerar att förbli underbelysta. Detta kan påverka överförbarheten av resultaten, särskilt till kontexter där offentliga, ideella aktörer eller motståndare till SMR har en större roll i energipolitiska processer.

En annan viktig aspekt gäller intervjumetodens inneboende subjektivitet. Även om semistrukturerade intervjuer möjliggör fördjupade och nyanserade svar, kan resultaten påverkas av respondenternas personliga erfarenheter, roller och förförståelser. Kodningen och tematiseringen av materialet bygger i grunden på forskarnas tolkningar, vilket innebär att en viss grad av subjektivitet inte kan undvikas. För att motverka detta har intervjuguiden utformats för att behandla centrala teman konsekvent över samtliga intervjuer, kodningen har relaterats nära till deltagarnas egna uttryck, och återkommande granskning av analysen har tillämpats för att säkerställa empirisk förankring och transparens.

Etiska överväganden har varit centrala genom hela forskningsprocessen och har präglat såväl urval, datainsamling som analys. Informerat samtycke, anonymisering av data och säker hantering av insamlat material har säkerställt att deltagarnas integritet och trygghet har prioriterats, vilket även kan ha främjat öppenhet och ärliga svar under intervjuerna.

Sammanfattningsvis har den metodologiska strategin skapat förutsättningar för en fördjupad och kontextnära förståelse av aktörsperspektiven kring SMR-implementeringen i Sverige, samtidigt som vissa avgränsningar och begränsningar måste beaktas vid tolkningen av resultaten. Öppenhet kring dessa styrkor och svagheter ökar studiens transparens och ger vägledning för framtida forskning, exempelvis genom att rekommendera longitudinella studier eller inkludering av fler aktörsgrupper för att fånga en bredare bild av det svenska SMR-landskapet.

6. Slutsats

Denna studie har syftat till att fördjupa förståelsen för hur olika aktörer i Sverige uppfattar de drivkrafter och barriärer som påverkar implementeringen av SMR, med särskilt fokus på de faktorer som kan underlätta eller försvåra teknikens framtida införande inom svensk energipolitik. Genom kvalitativa intervjuer och tematisk analys har två centrala forskningsfrågor undersökts: vilka drivkrafter som bedöms vara betydelsefulla för implementeringen av SMR i Sverige, samt vilka barriärer som anses särskilt kritiska.

Resultaten visar att de tekniska drivkrafterna främst handlar om SMR-teknikens flexibilitet, förbättrade säkerhetsfunktioner och möjligheten till modularitet och standardisering, vilket förenklar byggnation och integration. Ekonomiska drivkrafter, såsom minskad finansiell risk, förbättrat kassaflöde och ökad lokaliseringsflexibilitet, lyfts också fram som centrala. Politiska och strategiska faktorer rör ett mer gynnsamt regulatoriskt klimat samt Sveriges möjligheter att stärka sin internationella roll. Samhälleliga drivkrafter, som ökad acceptans, lokalt stöd och nya utvecklingsmöjligheter för kommuner, framstår som särskilt viktiga för framgångsrik implementering.

Barriärerna återfinns på flera plan: Tekniska hinder rör bland annat bränsle- och avfallshantering, leveranskedjor och systemintegration. Ekonomiska utmaningar omfattar förlorade stordriftsfördelar, höga initiala investeringskostnader samt osäkerheter kring affärsmodeller och serietillverkning. På politisk nivå utgör komplexa regelverk och utdragna tillståndsprocesser betydande hinder, medan brister i kompetensförsörjning, otillräcklig kommunikation och låg samhällelig acceptans dominerar på det sociala planet.

En central slutsats är att en lyckad implementering av SMR i Sverige kräver att tekniska och ekonomiska möjligheter tillvaratas, samtidigt som regulatoriska, politiska och samhälleliga barriärer systematiskt adresseras. Balansen mellan dessa faktorer bedöms vara avgörande för teknikens framtida roll i svensk energiförsörjning och klimatpolitik.

6.1 Vetenskapliga och praktiska implikationer

Detta avsnitt redogör för studiens huvudsakliga bidrag till både teori och praktik. Först diskuteras de teoretiska implikationerna och hur studien utmanar och kompletterar befintliga forskningsperspektiv kring teknologisk innovation inom energisektorn. Därefter följer en genomgång av de praktiska implikationerna för policyutveckling och industriell tillämpning, med särskilt fokus på åtgärder och strategier som kan underlätta en framgångsrik implementering av SMR i Sverige.

6.1.1 Teoretiska implikationer

Studien bidrar till fördjupad teoretisk förståelse av teknologisk innovation och spridning inom energisystemet, genom att belysa det komplexa samspelet mellan tekniska, ekonomiska, politiska och samhälleliga faktorer. Ett tydligt mervärde utgörs av det aktörsbaserade

kvalitativa perspektivet, vilket ger en mer nyanserad och realistisk bild än tidigare studier som ofta varit kvantitativa eller fokuserat på enskilda aspekter. Resultaten understryker vikten av att studera teknologisk förändring som en socioteknisk process, där institutionella dynamiker, etablerade praktiker och skilda intressen samspelar.

Metodologiskt visar studien att semistrukturerade intervjuer och tematisk analys kan bredda och fördjupa forskningsfältet kring SMR, särskilt genom att synliggöra aktörsspecifika erfarenheter, barriärer och möjliggörande faktorer. Studiens resultat ger nya insikter till teoretiska ramverk kring institutionell förändring, path dependency och sociotekniska system, och pekar på betydelsen av institutionell anpassning och aktörsinkludering i omvandlingsprocesser. Studien betonar att teknisk potential är nödvändig men inte tillräcklig, kompletterande faktorer som regelverk, affärsmodeller och acceptans är avgörande.

6.1.2 Praktiska implikationer

Ur ett policy- och industriperspektiv tydliggör resultaten behovet av långsiktiga och stabila politiska ramverk som ger förutsägbarhet för investerare och andra aktörer. Det handlar om att utforma tydliga mål, stödsystem och regelverk särskilt anpassade för SMR-teknikens särdrag. Effektiva, transparenta och snabba tillståndprocesser är nödvändiga för att minska osäkerheter och möjliggöra projektgenomförande.

Ett annat avgörande praktiskt område är kompetensförsörjning och utbildning inom kärnteknik på samtliga nivåer, från yrkesutbildningar till forskning, för att möta framtida behov och säkerställa långsiktig utveckling. Vikten av öppen dialog och samverkan mellan industri, akademi, myndigheter, kommuner och civilsamhälle kan inte nog betonas; detta är centralt för att bygga förtroende, legitimitet och acceptans för SMR. Transparens och inkluderande aktörsdialog behöver genomsyra hela processen, från planering till drift.

För industrin pekar studien på både utmaningar och möjligheter. Svenska företag kan inta en ledande roll internationellt, särskilt inom områden där Sverige redan har hög kompetens, exempelvis materialteknik, automation och säkerhet. För att lyckas krävs dock innovation i affärsmodeller och finansieringslösningar samt strategiska partnerskap, både nationellt och internationellt. Vidare behövs investeringar i organisatorisk utveckling och rekrytering samt ett proaktivt engagemang i dialogen med relevanta aktörer och myndigheter.

6.2 Förslag på framtida forskning

Trots att denna studie bidragit med viktiga insikter kring SMR-implementering i Sverige utifrån ett aktörsperspektiv, kvarstår flera områden som bör undersökas vidare. Ett naturligt steg är att bredda aktörsbasen i framtida studier, särskilt genom att inkludera civilsamhällesorganisationer, statliga myndigheter, kommunala planerare, energipolitiska beslutsfattare och slutanvändare såsom elintensiv industri. Detta skulle möjliggöra en mer holistisk förståelse av legitimitet, tillståndsgivning och lokal acceptans.

Longitudinella studier rekommenderas för att följa hur aktörsperspektiv, diskurser och regelverk förändras över tid, särskilt i takt med att SMR-projekt går från vision till implementering. Sådana studier kan fånga lärandeprocesser, skiftande policyprioriteringar och förändrade samhällsattityder, vilket är särskilt relevant i ett område där både tekniska och politiska förutsättningar förändras snabbt.

För att stärka generaliserbarheten och kunskapsbasen rekommenderas mixed methods-ansatser, där enkätstudier riktade till bredare aktörsgrupper kompletteras med djupintervjuer och fokusgrupper. Detta möjliggör statistiskt underbyggda jämförelser av drivkrafter och barriärer, samtidigt som kvalitativa data ger djupare förståelse för underliggande resonemang och kontextuella faktorer.

Slutligen föreslås komparativa studier mellan Sverige och andra länder med liknande energipolitiska ambitioner, såsom Kanada, Storbritannien och Finland. Genom att jämföra aktörsperspektiv, institutionella strukturer och samhällsattityder kan forskningen identifiera framgångsfaktorer och hinder för SMR-implementering i olika nationella kontexter. Det kan även vara värdefullt att integrera teknisk-ekonomisk modellering med kvalitativa analyser för att bättre förstå samspelet mellan investeringsbeteenden, policyutveckling och institutionella villkor.

Referenslista

Amin, M.R., Kowsar, M.A., Sheikh, M.A.R. & Chowdhury, M.A., 2024. 'A review on the future of SMR reactors in nuclear energy', *Energy and Thermofluids Engineering*, 4, pp. 17–23. doi:10.38208/ete.v4.737.

Awuzie, B., & McDermott, P., 2017. *An abductive approach to qualitative built environment research*. *Qualitative Research Journal*, 17(4), 356–372. <https://doi.org/10.1108/qjrj-08-2016-0048>

British Educational Research Association (BERA), 2024. *Ethical guidelines for educational research (5th ed.)*. London: BERA. Available at: <https://www.bera.ac.uk/publication/ethical-guidelines-for-educational-research-2024>

Braun, V., & Clarke, V. (2006). *Using thematic analysis in psychology*. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>

Bryman, A., Bell, E., & Harley, B., 2022. *Business Research Methods* (6th ed.). Oxford: Oxford University Press.

Cooper, M., 2014. *Small modular reactors and the future of nuclear power in the United States*. *Energy Research & Social Science*, 3, pp.161-177. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.07.014>

Damayanthi, T., 2024. *Emerging Small Modular Nuclear Power Reactors*. *BPRM - Bulletin of Power and Reactor Management*, 4(1), pp.60-64. [https://doi.org/10.31705/BPRM.v4\(1\).2024.15](https://doi.org/10.31705/BPRM.v4(1).2024.15)

Demianiuk, V., 2020. *Small Modular Reactors: Safety and Economic Indicators, Perspectives of their Deployment into Unified Power Grid of Ukraine*. *Nuclear Power and the Environment*. 20(3). <https://doi.org/10.31717/2311-8253.20.3.3>

Energiföretagen, 2023. *Sveriges elbehov 2045: Analys av framtida efterfrågan och behov av el i ett fossilfritt samhälle*. [pdf] Energiföretagen Sverige. https://www.energiforetagen.se/493642/globalassets/dokument/gap-rapport-handlingsplan/sveriges-elbehov-2045_vers230307.pdf

Energiföretagen, 2025. *Svensk elproduktion och installerad effekt 2024 – en regional översikt*. Energiföretagen Sverige. <https://www.energiforetagen.se/medlemsportalen/medlemsnyheter/2025/mars/svensk-elproduktion-och-installerad-effekt-2024--en-regional-oversikt2/#:~:text=Sverige%20som%20helhet%20>

[%2099%20procent%20fossilfri%20elproduktion&text=Vindkraften%20ser%20också%20gröna%20siffror,har%20minskat%20med%2014%20procent](#)

Energimarknadsinspektionen, 2020. *Kapacitetsutmaningen i elnäten – Ei R2020:06*. <https://ei.se/om-oss/publikationer/publikationer/rapporter-och-pm/2020/kapacitetsutmaningen-i-elnaten---ei-r202006>

Håkansson, A., 2024. *ANItA – A new Swedish national competence centre in new nuclear power technology*. Nuclear Engineering and Design 418 (2024) 112871 <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2023.112871>

IPCC, 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.). Geneva, Switzerland: IPCC, pp. 35–115. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

International Atomic Energy Agency (IAEA), 2021. *What are Small Modular Reactors (SMRs)?* <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>

International Atomic Energy Agency (IAEA), 2022. *Small Modular Reactors: A New Nuclear Energy Paradigm*. Vienna: IAEA. <https://nucleus.iaea.org/sites/smr/Shared%20Documents/Small%20Modular%20Reactors%20a%20new%20nuclear%20energy%20paradigm.pdf>

International Atomic Energy Agency (IAEA), 2024. *Small Modular Reactors: Advances in SMR Developments 2024*. Vienna: IAEA.

International Atomic Energy Agency (2016). *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments: 2016 Edition*. A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS). https://aris.iaea.org/publications/smr-book_2016.pdf

Krayem, A., & Thorin, E., 2024. *Sustainability assessment of Sweden's nuclear power: implications of the new expansion plans*. Environment, Development and Sustainability. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05219-8>

Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G. J., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Khourdajie, A. A., House, J., Pachauri, S., Figueroa, M., Saheb, Y., Slade, R., Hubacek, K., Sun, L., Ribeiro, S. K., Khennas, S., De La Rue du Can, S., Chapungu, L., Davis, S. J., Bashmakov, I., Dai, H., Dhakal, S., Tan, X., Geng, Y., Gu, B. & Minx, J. C., 2021. A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>

Lejestrand, A., 2023. *Kärnkraften viktig för svensk fossilfrihet*. Energiföretagen Sverige. <https://www.energiforetagen.se/fragor-vi-driver/positioner/karnkraften-viktig-for-svensk-fossilfrihet/>

Lewis, T. G., Cipiti, B. B., Jordan, S. E. & Baum, G. A., 2012. Generic Small Modular Reactor Plant Design (Technical Report SAND2012-10406, Unlimited Release, December 2012). Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1096461>

Mascari, F., Del Nevo, A., D'Auria, F., Milana, M. and Ninokata, H., 2023. *Small modular reactors and insights on passive mitigation strategy modeling*. Nuclear Engineering and Design, 401, 112088. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2022.112088>

Mignacca, B., Locatelli, G., & Sainati, T., 2020. *Deeds not words: Barriers and remedies for Small Modular nuclear Reactors*. Energy 206 (2020) 118137 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118137>

Mishra, S. & Alok, S., 2017. *Handbook of research methodology: A compendium for scholars & researchers*. Bhopal: Educreation Publishing.

Naturvårdsverket (u.å.) *Vad är Parisavtalet?* Naturvårdsverket.se. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/det-globala-klimatarbetet/parisavtalet/vad-ar-parisavtalet/>

NEA (2024), *The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Second Edition*, OECD Publishing, Paris. NEA No. 7671. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_90816/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-second-edition?details=true

Oğuz, S., 2024. *Visualized: The Four Benefits of Small Modular Reactors*. <https://decarbonization.visualcapitalist.com/visualized-the-four-benefits-of-small-modular-reactors/>

Regeringskansliet (u.å.). *Frågor och svar om kärnkraft*. Tillgänglig på: <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/energi/fragor-och-svar-om-karnkraft/>

Regeringen, 2023. **Ny kärnkraft i Sverige – ett första steg (Prop. 2023/24:19)**. <https://www.regeringen.se/contentassets/9e9319a8ecfd4939bedcd50dfb0bc00d/ny-karnkraft-i-sverige--ett-forsta-steg-prop-20232419.pdf>

Ricotti, M., & Fomin, R., 2020. *Small modular reactors*. Nuclear Reactor Technology Development and Utilization. Pages 187-211. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818483-7.00005-6>

Richter, J., 2014. *Small Modular Reactors: The future of nuclear energy?*. 2014 IEEE International Symposium on Ethics in Science, Technology and Engineering, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/ETHICS.2014.6893449>

Sam, R., Sainati, T., Hanson, B. & Kay, R., 2023. *Licensing small modular reactors: A state-of-the-art review of the challenges and barriers*. Progress in Nuclear Energy, 164, 104859. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2023.104859>

Schaffrath, A., Wielenberg, A., Kilger, R. & Seubert, A., 2021. *SMRs – overview, international developments, safety features and the GRS simulation chain*. Frontiers of Energy, 15(4), pp.793–809. <https://doi.org/10.1007/s11708-021-0751-2>

Shobeiri, E., Genco, F., Hoornweg, D., & Tokuhiko, A., 2023. *Small Modular Reactor Deployment and Obstacles to Be Overcome*. Energies 16(8), 3468. <https://doi.org/10.3390/en16083468>

Steigerwald, B., Weibezahn, J., Slowik, M., & Von Hirschhausen, C., 2023. *Uncertainties in estimating production costs of future nuclear technologies: A model-based analysis of small modular reactors*. Energy, 281, 128204. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128204>

SVT Nyheter (2025). *Här tas första spadtaget för en ny testreaktor i Oskarshamn*. SVT Nyheter Småland, 3 februari. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/smaland/har-tas-forsta-spadtaget-for-en-ny-testreaktor-i-oskarshamn>

U.S. Department of Energy (u.å.). *Benefits of Small Modular Reactors (SMRs)*. <https://www.energy.gov/ne/benefits-small-modular-reactors-smrs>

Van Hee, N., Peremans, H. & Nimmegeers, P., 2024. *Economic potential and barriers of small modular reactors in Europe*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 203, p.114743. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114743>

Vattenfall, u.å. *Hur ansluts vindkraftsparken till elnätet?* <https://group.vattenfall.com/se/var-verksamhet/vindprojekt/faq-vindkraft/hur-ansluts-vindkraftsparken-till-elnatet>

Vetenskapsrådet (2024). *God forsknings sed*. Stockholm: Vetenskapsrådet. ISBN 978-91-7307-500-8. <https://www.vr.se/analys/rapporter/vara-rapporter/2024-10-02-god-forsknings-sed-2024.html>

Västra Götalandsregionen, 2023. *Kärnkraft – kunskapsunderlag*. <https://mellanarkiv-offentlig.vgregion.se/alfresco/s/archive/stream/public/v1/source/available/sofia/rs7897-268913469-822/native/K%C3%A4rnkraft%20kunskapsunderlag.pdf>

Wrigley, P.A., Wood, P., Stewart, P., Hall, R., & Robertson, D., 2019. *Module layout optimization using a genetic algorithm in light water modular nuclear reactor power plants*. Nuclear Engineering and Design, 341, 100–111.

<https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2018.10.023>

WSP Sverige AB, 2023 *Små modulära reaktorer – en framtidsprognos för industri och samhälle*. [pdf] Stockholm: WSP Sverige AB.

<https://www.wsp.com/-/media/insights/sweden/documents/2022/sma-modulara-reaktorer--en-framtidsprognos-for-industri-och-samhalle.pdf>

Yıldırım, T., Dehlin, F., Sandberg, N., & Amft, M., 2024. *Estimation of the neutron-activated waste from decommissioning of NuScale's Power Module and evaluation of its suitability for the Swedish waste management system*. Nuclear Engineering and Design 428 (2024) 113442

<https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113442>

Zarebski, P., & Katarzyński, D., 2023. *Small Modular Reactors (SMRs) as a Solution for Renewable Energy Gaps: Spatial Analysis for Polish Strategy*. Energies 16(18), 6491.

<https://doi.org/10.3390/en16186491>

Zohuri, B., 2020. *Nuclear Industry Trend Toward Small and Micro Nuclear Power Plants*, pp. 41-97.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-47225-2_2

Zohuri, B., 2023. *Navigating the regulatory challenges and economic viability of small modular nuclear reactors: A key to future nuclear power generation in the USA and beyond*. Journal of Material Sciences & Manufacturing Research, 4(5), 1–4.

[https://doi.org/10.47363/JMSMR/2023\(4\)159](https://doi.org/10.47363/JMSMR/2023(4)159)

Bilaga A. Intervjuguide

1. Kan du kort presentera dig själv och beskriva din roll i organisationen?
2. Hur ser du på potentialen för små modulära reaktorer (SMR) som en del av Sveriges framtida energimix?
3. Vilka tekniska fördelar anser du att SMR har, jämfört med konventionell kärnkraft eller andra kraftslag?
4. Vilka tekniska osäkerheter eller utvecklingsbehov ser du som de mest kritiska för att SMR ska kunna implementeras i Sverige?
5. Vilka ser du som de största ekonomiska möjligheterna och riskerna med att utveckla eller investera i SMR i Sverige?
6. Vilka policy- eller regulatoriska förändringar anser du är nödvändiga för att möjliggöra utvecklingen av SMR?
7. Vilka är dina erfarenheter av myndighetsdialog eller tillståndsprocesser?
8. Vad tror du krävs för att öka acceptansen för SMR bland investerare, industri och/eller samhället?
9. Vilka kunskaps- eller kompetensbehov ser du som särskilt viktiga för SMR-utveckling i Sverige?
10. Finns det flaskhalsar i leveranskedjan eller inom utbildning/rekrytering?
11. Hur ser du på Sveriges möjligheter att positionera sig internationellt inom SMR-utveckling, sett från ett industriellt eller akademiskt perspektiv?
12. Om du fick ändra på en sak för att påskynda SMR-utvecklingen i Sverige, vad skulle det vara?