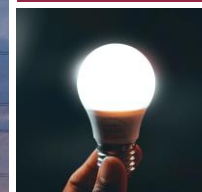


NEPP ANALYSUNDERLAG 1/2024



Profu



SMÅ MODULÄRA REAKTORER (SMR) – ÖVERSIKT OCH ANALYSBAKGRUND

Detta resultatblad syftar till att ge en aktuell översikt över SMR-tekniken och ge en bakgrund till de beräkningsförutsättningar som Nepp-projektet kommer att utgå från med avseende på SMR-tekniken.

Intresset för småskalig, modulär kärnkraft (SMR) är idag relativt stort i Sverige och i resten av världen. Orsaker till detta är klimatfrågan, en förväntan om en omfattande elektrifiering (som delvis är en konsekvens av klimatfrågan), en tro att förnybar energi inte ensamt klarar omställningen och en förhoppning om att teknikutvecklingen för ny kärnkraft i allmänhet och SMR-tekniken i synnerhet kommer att vara gynnsam de närmaste åren och erbjuda en konkurrenskraftig och stabil elproduktion. Globalt finns idag ett 70-tal tillverkare som säger sig ha mer eller mindre färdiga SMR-koncept eller som sitter på koncept på designstadiet. Det politiska landskapet i Sverige är för närvarande övervägande positivt i förhållande till kärnkraft och stora delar av industrin efterfrågar ny kärnkraft som komplement till förnybar energi. Men det finns ett antal faktorer som ligger i den andra vågskålen och som, lite beroende på vem man frågar eller vilken syn man har på utvecklingen, bidrar till att balansera denna positiva bild. För Nepp-projektets analyser av det framtida elsystemet kommer beräkningsförutsättningar för ny kärnkraft inklusive SMR att ha inverkan på beräkningsresultaten och projektets slutsatser.



Energiforsk



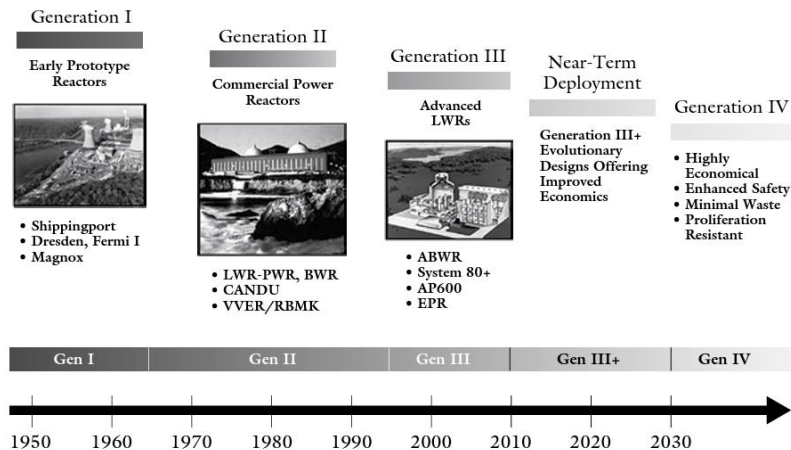
Profu

nepp

Inledning och terminologi

Kärnkraftsreaktorer kan konfigureras på flera olika sätt. Det handlar i huvudsak om vilket kylmedium man använder (vatten, helium, CO₂, natrium, bly med mera), om det är en termisk eller snabb reaktor (definieras av fissions- eller klyvningsneutronernas energinivå) och vilken moderator (det neutronbromsande materialet, exempelvis vatten, grafit eller beryllium) man utnyttjar i en termisk reaktor. Den idag mest spridda tekniken i världen är lättvattenreaktorn som är en termisk reaktortyp där vanligt vatten används som både kylmedium och moderator.

Kärnkraftsreaktorer delas av pedagogiska skäl in i olika utvecklingsgenerationer beroende på när de tillverkades. Man pratar om Gen-I, Gen-II, Gen-III, Gen-III+ och Gen-IV, se Figur 1. Skillnaderna mellan Gen-II, Gen-III och Gen-III+ är inte alltid glasklara, inte minst eftersom flera äldre Gen-II-reaktorer har moderniserats under åren och numera delar flera säkerhetsmässiga detaljer med moderna Gen-III(+)-reaktorer. Följer man denna indelning så tillhör de svenska reaktorerna Gen-II men de har också uppgraderats och moderniserats under årens lopp. Gen-IV betraktas ofta som ett system där själva reaktorn är en av flera komponenter som tillsammans ska uppfylla ett antal kriterier, bland annat att sträva efter att mer eller mindre sluta bränslekretsloppet och producera minimalt med avfall. Gen-IV befinner sig än så länge endast på forsknings- och designstadiet och man brukar idag skilja på sex olika teknikspår med olika mognadsgrad.



Figur 1: Principbild över olika generationer av kärnkraftsreaktorer. Källa: Goldberg och Rosner (2011).¹

¹ Goldberg och Rosner (2011), "Nuclear Reactors: Generation to Generation", American Academy of Arts and Sciences.

Hur kommer då begreppet SMR in i allt detta? SMR har varken med föregående generationsindelning eller med reaktorfysik (kylning, moderator, snabb/termisk mm) i sig att göra utan berör i första hand *reaktorstorlek* och *tillverkningsfilosofi*. Definitionsmässigt brukar man klassa SMR-tekniken som enheter på maximalt 300 MWe² medan storskaliga kärnkraftverk typiskt ligger på 1200-1600 MWe. Med den mindre storleken följer ett antal egenskaper som särskiljer en SMR från en större reaktor. Det kan avse dels lokalisering då små reaktorer av naturliga skäl är mindre utrymmeskrävande varvid frihetsgraden för olika placeringar ökar (exempelvis samlokalisering med processindustrier eller fjärrvärmesystem), dels säkerhetsaspekten där kylning av restvärmen efter ett reaktorstopp enklare låter sig göras med passiva metoder (naturlig cirkulation) än i en stor konventionell reaktor, dels regler tekniskt där fler mindre enheter möjliggör ett större reglerintervall än en stor enhet med samma effekt som summan av de små enheterna.

En relativt liten storleken är inte unik för begreppet SMR. Små reaktorer är, och har varit, i bruk på bland annat fartyg inklusive atomubåtar. Forskningsreaktorer som finns runtom i världen för bränsletester, isotopproduktion och reaktorfysikalisk forskning faller också storleksmässigt inom SMR-begreppet. Forskningsreaktorer producerar dock normalt ingen el.

Vid sidan om reaktorstorleken är den andra aspekten som definierar SMR-konceptet tillverkningsfilosofin, det vill säga "modulariteten". Tanken är att tillverkning sker standardiserat och modulärt och off-site i fabriker snarare än som unika storskaliga och specialanpassade projekt på plats som för de konventionella reaktorerna. Produktionen sker alltså med en annan logik än för de konventionella storskaliga reaktorerna och tanken med detta är att på sikt kunna erbjuda reaktorer till lägre kostnad än de konventionella till följd av standardisering och "masstillverkning" i fabriker.

Ytterligare ett skäl som anförs för SMR gentemot konventionella storskaliga reaktorer är att den finansiella risken är så pass mycket mindre för en mindre enhet än för en stor enhet. Detta ses som något som bör kunna attrahera fler aktörer och öka investeringsviljan i ett nytt kärnkraftverk då den mindre storleken helt enkelt utgör en klart mindre ekonomisk risk, allt annat lika. En investering i en liten enhet kan senare följas av ytterligare investeringar i fler små enheter. Man bör dock komma ihåg att det icke desto mindre rör sig om avsevärda investeringar på,

² <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>

beroende på teknik, flera tiotals MW el upp mot 100-tals MW el för en enda enhet.

Tillverkare och koncept

SMR är alltså ingen ny (revolutionerande) reaktorteknik utan handlar om storlek och produktionssätt. Internationella atomenergiorganet (IAEA) uppger att det i nuläget finns omkring 70 olika koncept och designers som man klassar som SMR.³ En stor andel av dessa bygger på lättvattenreaktortekniken, det vill säga samma teknik som dagens svenska reaktorer, men det finns också några koncept som faller inom Gen-IV-konceptet, det vill säga reaktorkoncept som i stor utsträckning baseras på ej tidigare kommersialiserad teknik. Lättvattenreaktortekniken innebär låg teknisk risk eftersom det är en välbekant och utbredd teknik som det finns mångårig erfarenhet av runtom i världen. Gen-IV-koncepten, inte minst de som baseras på snabbreaktortekniken, erbjuder dock potentiellt sett relativt små avfallsvolymer, teknisk enkelhet samt längre drift utan bränslebyte, men där har man å andra sidan väsentligt mindre erfarenhet.⁴

Ett antal olika SMR-tekniker listas i Tabell 1. Fyra SMR-tekniker omnämns av det svenska kompetenscentrumet för akademisk och industriell kärnteknik (ANItA) som särskilt långt framskridna (eller mest utvecklade).⁵ Att vara "långt framskriden" i utvecklingen kan exempelvis innebära att man som tillverkare har inlett eller nyligen avslutat någon form av licensieringsprocess med ansvarig myndighet och/eller att man för kvalificerade samtal med potentiella köpare alternativt deltar i statliga upphandlingar (exempelvis den pågående brittiska upphandlingen med syftet att uppföra SMR-enheter till mitten av 2030-talet⁶). Ytterligare en indikator på att man är "långt framskriden" i utvecklingen är att man utnyttjar konventionell teknik av typen lättvattenreaktorteknik som är den mest använda tekniken i dagens globala kärnkraftspark och bygger därmed på mångårig erfarenhet. Samtliga fyra SMR-tekniker som omnämns av ANItA som långt komna i utvecklingsskedet bygger på just lättvattenreaktortekniken. Tillverkarna bakom de fyra teknikerna som omnämns av ANItA är amerikanska Nuscale, brittiska Rolls Royce, General Electric/Hitachi och EDF (NuwardTM), samtliga fyra är inringade i Tabell 1.

³ <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>

⁴ <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx>

⁵ "Strålsäkerhet och små modulära reaktorer (SMR) – Rapport från ANItA E2. Version 3.0", https://www3.uu.se/digitalAssets/1062/c_1062422-l_3-k_anita-e2-rapport-1.pdf

⁶ <https://www.gov.uk/government/news/six-companies-through-to-next-stage-of-nuclear-technology-competition>

Tabell 1 Källa: IAEA (2022), "Small Modular Reactors: A new nuclear energy paradigm"

Design	Output MW(e)	Type	Designers	Country	Status
WATER COOLED SMALL MODULAR REACTORS					
CAREM	30	PWR	CNEA	Argentina	Under construction
ACP100	125	PWR	CNNC	China	Under construction
NUWARD	2 × 170	PWR	EDF, CEA, TA, Naval Group	France	Conceptual design
SMART	107	PWR	KAERI and K.A.CARE	Republic of Korea	Standard design approval received
KLT-40S	2 × 35	PWR in floating NPP	JSC Afrikantov OKBM	Russian Federation	In operation
RITM-200N	2 × 53	PWR	JSC Afrikantov OKBM	Russian Federation	Detail design
UK SMR	443 ^a	PWR	Rolls-Royce and Partners	United Kingdom	Conceptual design
NuScale	6 × 77	PWR	NuScale Power Inc.	United States of America	Received US NRC certification
BWRX-300	270–290	BWR	GE-Hitachi Nuclear Energy and Hitachi GE Nuclear Energy	United States of America and Japan, Canada	Pre-licensing
HIGH TEMPERATURE GAS COOLED SMALL MODULAR REACTORS					
HTR-PM	210	HTGR	INET, Tsinghua University	China	In operation
GT-MHR300	100–300	HTGR	JAEA	Japan	Pre-licensing
Xe-100	82.5	HTGR	X-Energy LLC	United States of America	Basic design
FAST NEUTRON SPECTRUM SMALL MODULAR REACTORS					
EM ²	265	GMFR	General Atomics	United States of America	Conceptual design
MOLTEN SALT SMALL MODULAR REACTORS					
Integral MSR	195	MSR	Terrestrial Energy Inc.	Canada	Conceptual design
KP-FHR	140	Pebble bed salt cooled Reactor	KAIROS Power, LLC.	United States of America	Conceptual design
MICROREACTORS					
U-Battery	4	HTGR	Urenco	United Kingdom	Conceptual design
MMR	5–10	HTGR	Ultra Safe Nuclear Corporation	United States of America, Canada	Conceptual design
Aurora	1.5	FR	OKLO, Inc.	United States of America	Conceptual design

Note: CNEA — National Atomic Energy Commission (of Argentina); CNNC — China National Nuclear Corporation; EDF — Électricité de France; CEA — French Alternative Energies and Atomic Energy Commission; KAERI — Korea Atomic Energy Research Institute; K.A.CARE — King Abdullah City for Atomic and Renewable Energy, Saudi Arabia.

^a Power rating above 300 MW but considered an SMR by the UK government.

Även om alla tillstånd i skrivande stund ännu inte är på plats har man redan inlett bygget av den första SMR-enheten i västvärlden (GE/Hitachis BWRX-300), i Darlington i Kanada där det redan finns en anläggning med konventionell kärnkraft på plats.⁷

Man kan dock konstatera att även andra koncept kommit en bra bit på väg och att det, de facto, pågår konstruktioner i såväl Argentina som Kina, om än i begränsad omfattning så här långt. Även Ryssland brukar omnämnas i dessa sammanhang där pilotprojektet Akademik Lomonosov, som är färdigbyggt, ska demonstrera tillämpbarheten med flytande minikärnkraftverk som ska kunna användas på bland annat avlägsna platser.

Den amerikanska tillverkaren Nuscale har länge betraktats som något av en pionjär inom SMR-segmentet och fick i början av 2023 sin licensansökan

⁷ <https://www.opg.com/projects-services/projects/nuclear/smr/darlington-smr/>

(för designen) godkänd ("design certification") av den amerikanska strålsäkerhetsmyndigheten NRC för en modul på 50 MWel (redan år 2020 hade man fått ett så kallat designgodkännande, "design approval"). Nuscale hade dock innan man erhållit sin licens hunnit att ändra sitt koncept något till en modul med en något högre uteffekt, 77 MWel. Detta visar att handläggningstiden för licensieringsprocessen kan vara långdragen samtidigt som teknikutvecklingen för ny (och som i detta fall, delvis oprövad) teknik kan gå snabbt framåt. "Problemet" för Nuscale är att man nu har tvingats uppdatera sin licensansökan vilket ytterligare kan komma att fördröja en möjlig kommersialisering.⁸

Som nämnts, ligger lättvattenteknikerna längst fram i dagsläget bland SMR-teknikerna. Det finns dock ytterligare en amerikansk tillverkare värd att nämna, X-Energy, som med sin SMR-teknik Xe-100 (80 MWel per enhet) har kommit relativt långt i arbetet med att ta fram en färdig design (inringad med streck i Tabell 1). Denna reaktortyp är av en (helt) annan teknik och är en så kallad högttemperaturreaktor som kyls med helium. Bränslet i denna reaktortyp är väsensskilt från det som används i konventionella lättvattenreaktorer och består av små kulor av fissilt material (urandioxid) plus kapslingsmaterial. Dessutom är bränslet av typen HALEU (*High-assay-low-enriched uranium*) och innebär en väsentligt högre anrikningsgrad, det vill säga andel U-235 av den totala uranmängden (upp till 20% jämfört med typiskt runt 5% i konventionellt bränsle). Den högre anrikningsgraden möjliggör kompaktare reaktorkonstruktion och längre drifttider utan bränslebyten. Sådana bränslekonfigurationer och anrikningsgrader ställer naturligtvis nya krav på licensiering och bränslekedjor. Xe-100-reaktorn har en bit kvar till färdig och godkänd design, men vissa inledande steg har tagits i licensieringsprocessen ("pre-application meetings") och i samråd med de amerikanska myndigheterna.⁹ Den kanadensiska reglermyndigheten Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) har nyligen låtit meddela att man inte ser några hinder för en licensiering av denna teknik. Detta konstaterar man efter att nära ha följt utvecklingsarbetet i en så kallad vendor design review sedan 2020.¹⁰

Utmaningar

Som synes är intresset för SMR-tekniken stort runtom i världen. Förutom i Sverige pågår aktiviteter och förstudier i vårt närområde även i Storbritannien, Frankrike, Polen, Finland och Estland. Om man betänker att det idag endast finns tre sannolika tillverkare av konventionell storskalig kärnkraft för kunder i Västeuropa och Nordamerika, nämligen

⁸ www.technologyreview.com/2023/02/08/1067992/smaller-nuclear-reactors/

⁹ <https://www.nrc.gov/docs/ML2323/ML23234A167.pdf>

¹⁰ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/SMR-completes-Canadian-design-review-milestones>

amerikanska Westinghouse, franska EdF och sydkoreanska KEPCO¹¹, så är det svårt att tänka bort de mångfald fler utvecklarna och tillverkarna av olika SMR-koncept ur en framtid där kärnkraft expanderar globalt.

Men det finns ett antal viktiga förbehåll som bidrar till osäkerheterna med avseende på SMR-teknikens framtid. Den första, och kanske viktigaste, invändningen är att det idag ännu inte finns en enda anläggning på plats och i drift av detta slag där syftet är mata in el på det allmänna elnätet. Det gäller globalt även om några enstaka anläggningar i Kina och Ryssland möjligen skulle kunna falla in under begreppet SMR. Men ur ett västerländskt perspektiv finns idag inte mycket att gå på annat än tillverkarnas uppgifter om vad en anläggning kan komma att kosta och prestera. Som nämnts ovan har flera tillverkare sagt sig vara nära en kommersialisering men det finns bland dessa också tecken på att man ännu inte helt har lämnat utvecklingsstadiet vilket innebär att utformningen för en kommersiell slutprodukt därmed ännu inte är helt utmejslad.

Kostnaden är nästa stora frågetecken. Tillverkarna av denna teknik anger riktvärden för produktionskostnaden som bör vara tilltalande på sikt. Typiska produktionskostnader som anges av tillverkarna är runt 60 USD/MWh el (har omnämnts av talespersoner för exempelvis GE/Hitachi och Nuscale).¹² Kostnadsuppskattningarna bygger sannolikt på bedömningar av vad en SMR-anläggning får kosta för att bli lönsam på morgondagens elmarknad och att det därmed påverkar själva designen och utformningen. Det är först när en möjlig kommersialisering tagit (ordentlig) fart som man bättre kan bedöma vilken nivå de verkliga kostnaderna kommer att ligga på. Men med all ny teknik kommer initialt höga kostnader innan teknikutveckling genom erfarenheter lyckas få ner kostnaderna. Hur affärsuppgörelsen och riskdelningen för de första sålda enheterna, som alltså kan komma att bli relativt dyra, ser ut blir en viktig fråga. En annan fråga är om SMR-tekniken, om och när den väl har kommit ned i kostnad genom erfarenhetsuppbyggnad, kan matcha den gynnsamma kostnadsutvecklingen, med eller utan riktade stöd, för alternativen i form av vindkraft, solex och olika energilagerlösningar. Här går åsikterna helt enkelt isär och ytterst återstår det att se.

Amerikanska Nuscale och projektet Carbon Free Power Project utgör ett talande exempel på svårigheterna med en kommersialisering även av en lovande teknik. Projektets mål var en anläggning i Idaho och skulle bestå av sex reaktorer om 77 MWe i en samverkan mellan tillverkaren Nuscale och ett större antal västamerikanska aktörer inom elområdet. Den

¹¹ <https://www.svd.se/a/nQdAxn/manga-hinder-for-utbyggnad-av-svensk-karnkraft>

¹² <https://www.utilitydive.com/news/advanced-nuclear-ge-hitachi-mwh-nuscale-smr-small-modular-reactor/630154/>

ursprungliga beräknade produktionskostnaden för el ("target price" på ca 60 USD/MWh) reviderades upp under projektets gång (översteg till slut 100 USD/MWh) tills man slutligen beslutade sig för att helt lägga ner projektet i november 2023.^{13,14}

Ett tredje frågetecken berör vikten av skalfördelar när det gäller ny kärnkraft. Att konventionella reaktorer är stora beror helt enkelt på att man därigenom kan hålla nere de specifika kostnaderna för flera viktiga komponenter. I vilken utsträckning SMR-tekniken kan övertrumfa denna fördel med en större tillverkningsvolym av standardiserade enheter återstår också att se.

SMR-tekniken och dess möjliga roll på den framtida elmarknaden

Även om intresset för ny kärnkraft är relativt stort i Sverige och om investeringsbeslut skulle komma att fattas i närtid så lär det dröja innan vi kommer att få se nya anläggningar på plats till följd av ledtider för tillstånd, byggprocess med mera. Vattenfall anger exempelvis i sin nyligen avslutade förstudie att om förutsättningarna är de rätta så siktar man på att ta en ny reaktor i drift under första halvan av 2030-talet.¹⁵ Vattenfall har som ett resultat av förstudien beslutat sig för att gå vidare i processen med att förbereda för ny kärnkraft men ännu inte landat i vilken reaktortyp som kan komma att bli aktuell. Tidsperspektivet för ny kärnkraft i Sverige innebär följaktligen att man i sina analyser och överväganden bör förhålla sig till ett elsystem och en elmarknad i ett 2030-35-perspektiv, och årtionden därefter, och inte utgå från dagens elmarknad.

Att analysera ett framtida elsystem är naturligtvis svårt med tanke på de många osäkerheterna som finns. Viktiga omvärldsförutsättningar som har stor påverkan på energisystemets långsiktiga utveckling är bland annat energi- och efterfrågeutvecklingen, politik och styrmedel, de internationella och nationella bränslemarknaderna samt inte minst teknikutveckling. Teknikutvecklingen har varit mycket gynnsam för vindkraft och solex samt, på senare år, för batteritekniker och det mesta pekar på att denna utveckling kommer att fortgå. Den stora frågan är om teknikutvecklingen för ny kärnkraft i allmänhet, och SMR i synnerhet, kan leda till att ny kärnkraft kan bli ett konkurrenskraftigt alternativ på framtidens elmarknad. Tillverkarna är fulla av tillförsikt men än så länge manar de få pågående eller nyligen avslutade storskaliga projekten i

¹³ <https://ieefa.org/resources/eye-popping-new-cost-estimates-released-nuscale-small-modular-reactor>

¹⁴ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Idaho-SMR-project-terminated>

¹⁵ <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2024/vattenfall-gar-vidare-med-planeringen-av-ny-karnkraft-vid-ringhals>

västvärlden till viss eftertanke. Det är alltså mot hela denna bakgrund och problemkontext som lönsamheten för ny kärnkraft ska studeras och bedömas.

Kärnkraft är ett kraftslag som driftmässigt fungerar bäst vid ett jämnt effektuttag, det vill säga reglerförmågan är, för varje enhet, relativt begränsad även om ny teknik har ökat möjligheterna för de moderna reaktorerna som uppförts.¹⁶ Som tidigare nämnts, innebär småskaligheten för SMR ytterligare fördelar med avseende på reglerförmågan om man betraktar en grupp av SMR-enheter. Med andra ord har möjligheterna ökat för bättre regleregenskaper vilket också är en nödvändighet för att anpassa sig till den framtida elmarknaden där elpriset kommer att karaktäriseras av en hög grad av variabilitet, något som vi redan kunnat se under de senaste åren. Det handlar alltså om att anpassa sig till svängningar i elpris och undvika driftkostnader, genom att reglera ner, under perioder då elpriset är lågt vilket det alltså kan vara under perioder på typiskt 2-3 dygn eller till och med längre (baserat på Nepp-projektets elprisberäkningar i ett 2030-perspektiv). Oavsett reglerförmågan kommer en investering i ny kärnkraft (inklusive SMR) att sträva efter en lång utnyttningstid då investeringen är synnerligen kapitalintensiv. Med den växande andelen lågpristimmar (där elpriset typiskt understiger de rörliga produktionskostnaderna för kärnkraft) under året finns en risk att en investering i ny kärnkraft inte bär sig till följd av alltför låga drifttider, såvida inte elpriserna under resten av året är så pass höga att de kompenserar för perioden med låga elpriser. Alternativt strävar man efter att maximera utnyttningstiden genom att producera andra nyttigheter då elpriset är lågt, exempelvis vätgas men som då måste konkurrera med vätgas producerad med lågkostnadsel från exempelvis vind- eller solex. Samtidig fjärrvärmeproduktion eller industriell ångproduktion skulle för en kärnreaktor ytterligare öka tåligheten mot perioder med låga elpriser.

Om intäktssidan är ena sidan av myntet är kostnadssidan den andra sidan. Vi har redan nämnt en del av de kostnadsskattningar som gjorts men samtidigt konstaterat att osäkerheterna är mycket stora i synnerhet som det ännu inte finns någon kommersiell erfarenhet (i västvärlden). De energisystemstudier som analyserar det framtida elsystemet och hur det kan tänkas se ut och fungera får alltså förhålla sig till dessa och andra osäkerheter och göra rimliga antaganden. En av de viktigaste förklaringarna till varför olika analyser kan komma fram till helt olika resultat med avseende på lönsamheten för ny kärnkraft beror just på att man gjort olika antaganden för helt avgörande omvärldsfaktorer även om man i mångt och mycket har en gemensam syn på hur elsystemet fungerar

¹⁶ <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/advanced-nuclear-power-reactors.aspx>

och driftas och dessutom använder sig av en liknande metodansats. Skillnader i sådana antaganden kan exempelvis avse de framtida kostnaderna för ny kärnkraft och tillgången till förnybar energi samt kostnaderna för densamma. Även synen på möjligheterna att hantera variabiliteten för väderberoende elproduktion är typiska beräkningsantaganden som kan skilja sig åt mellan olika studier.

Det är heller inte alltid som det behövs särskilt stora skillnader i beräkningsantaganden för att utfallet kan se (helt) olika ut. Det gäller i synnerhet sådana beräkningsantaganden för vilka känsligheten i utfallet är stor. Lämpligen hanteras det med en uppsättning känslighetsanalyser eller scenarioräkningar men det är inte alltid som det görs i den omfattning som det kanske borde i olika studier.

Viktiga beräkningsantaganden i energisystemmodellstudier som har signifikant betydelse för kärnkraftens framtida lönsamhet är bland annat:

- Kärnkraftens kostnader inklusive möjligheter till livstidsförlängning av existerande anläggningar. I detta ingår också kostnader för (och värde av) produktion av andra nyttigheter förutom el
- Kostnader och prestanda för alternativ elproduktion
- Tillgången och potentialen för förnybar energi
- Tillgången eller kostnader för efterfrågefleksibilitet och energilagring
- Efterfrågans storlek på årsbasis och effektprofil inom året
- Utvecklingen för elsystemet i Sveriges grannländer
- För samtidig produktion av exempelvis fjärrvärme utgör också fjärrvärme-/mottrycksunderlag i termer av både användningsprofil och antalet system i Sverige där en SMR kan få avsättning för sådan värme, viktiga antaganden

Inverkan från efterfrågefleksibilitet eller energilagring på lönsamheten för ny kärnkraft är inte entydig eftersom efterfrågefleksibilitet och energilagring gynnar såväl väderberoende (icke-planerbar) eltillförsel som mer svårreglerbar (men planerbar) elproduktion som kärnkraft.

Utvecklingen i grannländernas elsystem är mycket viktig för beräkningsutfallet i Sverige inte minst som elöverföringsförbindelserna mellan länder och regioner kommer att stärkas. Det innebär exempelvis att en mycket stor penetration av väderberoende kraft i grannländerna kan leda till att det bitvis finns ett stort kraftöverskott i kringliggande regioner som kan exporteras till Sverige och på så sätt öka antalet lågpristimmar även i Sverige vilket kan vara utmanande för investeringar i ny kärnkraft.

Allt oftare framförs åsikten att det är helt avgörande att inkludera de systemstabiliserande funktioner som krävs för exempelvis frekvenshållning och spänningshållning i elnätet i en analys som syftar till att väga för- och nackdelar med olika sammansättning på elproduktionen (se exempelvis

Tidningen Näringslivet, 2023).¹⁷ Dessa funktioner är oundgängliga för elsystemets drift och stabilitet men det är oklart i vilken utsträckning de bidrar till att avgöra hur den framtida elförsörjningen och dess sammansättning kan komma att se ut. Flera av de systemstabiliserande funktionerna får man per automatik i synkront anslutna generatorer som kärnkraftsreaktorer. För svensk kärnkraft berör det främst rotationsenergi, spänningshållning och kortslutningseffekt. I ett system dominerat av väderberoende elproduktion som vindkraft och solceller anslutet till elnätet via kraftelektronik (omriktare) krävs sannolikt investeringar i kompletterande komponenter (exempelvis synkronkompensatorer för frekvenshållning och shuntreaktorer/shuntkondensatorer för spänningshållning) även om modern kraftelektronik i allt större utsträckning kan erbjuda nätstabiliserande funktioner inte minst i kombination med batterier.

En analys av kärnkraftens, inklusive SMR-teknikens, roll på framtidens elmarknad måste alltså förhålla sig till en rad osäkerheter och avvägningar samt sättas in i ett systemperspektiv, vilket är centralt för det analysarbete som görs inom Nepp-projektet. Avgränsningar är av praktiska och resursmässiga skäl nästintill regel utan undantag men är viktiga att förhålla sig till. Ett sådant förhållningssätt kan vara att kvalitativt bedöma i vilken utsträckning de valda avgränsningarna kan ha signifikant betydelse för slutsatserna.

¹⁷ <https://www.tn.se/naringsliv/31680/expert-sagar-scenario-om-100-procent-fornybart-en-fantasi/>

KONTAKT:

Thomas Unger, Profu

NORDEUROPEISKA ENERGIPERSPEKTIV, NEPP

Forskningsprogrammet Nordeuropeiska energiperspektiv, Nepp, spänner över flera forskningsdiscipliner. Syftet med Nepp är att visa hur balanserade och hållbara utvecklingsvägar för energisystemen i Sverige, Norden och Nordeuropa kan åstadkommas samt hur energisystemen kan bidra till samhällets omställning i stort. Programmet fungerar som ett sammanhållande forskningskluster, där forskare från olika forskningsföretag och lärosäten anlitas för att genomföra olika studier med utgångspunkt från identifierade samhällsutmaningar. Nepp är också en mötesplats för dialog, samskapande och systemsyn för energisektorn och energiforskningen.

FORSKNINGSFÖRETAGET ENERGIFORSK ÄR PROJEKTVÄRD FÖR NEPP OCH ANSVARAR FÖR PROGRAMMETS ÖVERGRIPANDE INRIKTNING. KONSULT- OCH FORSKNINGSFÖRETAGET PROFU ÄR PROJEKTLEDARE FÖR NEPP.



Energiforsk



Profu

nepp