

Små modulära reaktorer – nyckeln till Sveriges framtida energibehov?

Abstract

Within a not-too-distant future, Sweden is believed to face a surge in demand for electricity. The purpose of this thesis is to examine the economic aspects of small modular reactors (SMR), as one possible solution for Sweden's coming energy needs. SMR are a new form of nuclear reactors, modularly constructed in a factory and small enough to be shipped to the site where they are to be installed. However, given the novelty of the technology there are opposing views as to whether SMR are economically competitive with alternative sources of energy. By looking at the literature published on the subject, this thesis aims to showcase if SMR could be the key to Sweden's future energy supply. The conclusion presented is that whilst it is not impossible for SMR to have a place in Sweden some adjustments in legislature must be done, and more research must be conducted before one can definitively decide if SMR has a part to play in the production of Swedish electricity or not.

Keywords: SMR, energi, elproduktion, kärnkraft.

Innehållsförteckning

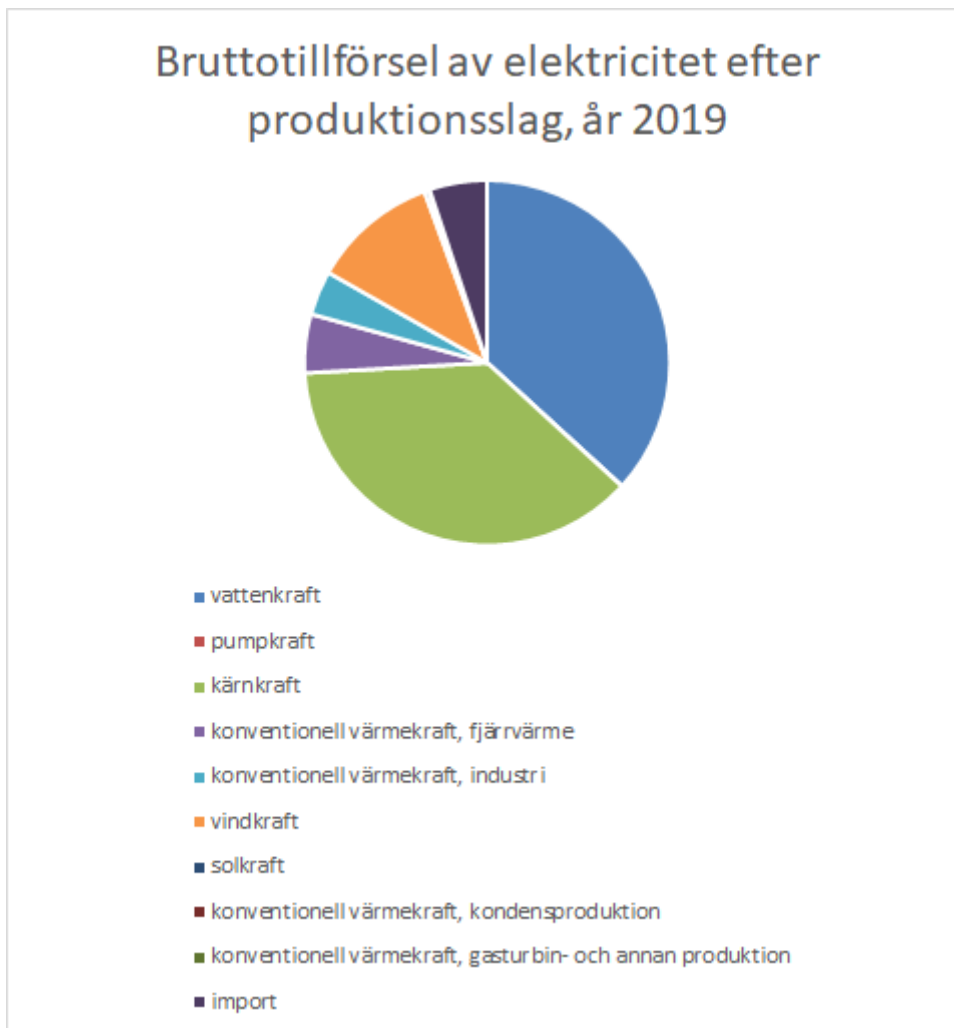
1. Inledning	4
2. Metod	6
2.1. Förkortningar och förtydligande	7
3. Små modulära reaktorer	7
3.1. Introduktion till små modulära reaktorer	7
3.2. Säkerhet	9
4. Ekonomisk analys	10
4.1. SMR:s kostnader.....	11
4.1.1 Anläggningskostnader	11
4.1.2 Drift- och underhållskostnader	15
4.1.3. Bränslekostnader	16
4.1.4. Avvecklingskostnader	17
4.2. Politiska och praktiska förutsättningar för SMR	18
5. Diskussion	20
6. Sammanfattning	22
7. Referenslista	25

1. Inledning

Den som följt den offentliga debatten i Sverige under senare tid lär ha uppmärksammat energifrågan. Exempelvis var landets framtida elförsörjning ett ämne som togs upp under partiledardebatten i maj i år (SVT, 2021, 36:20). Kort sammanfattat förväntas efterfrågan på elektricitet öka avsevärt i Sverige inom en överskådlig framtid. Det finns olika uppskattningar av hur stor efterfrågan kommer bli. En undersökning genomförd av Gode et al. (2021, s. 3) kommer fram till att Sveriges energibehov år 2045 kan komma att ligga någonstans mellan 240 och 310 TWh. Jämfört med 2019 års elkonsumention på cirka 139,5 TWh motsvarar detta en ökning på mellan 72 och 122 procent (SCB, 2020a). Enligt rapportförfattarna kommer den största bidragande faktorn till den höga framtida efterfrågan på energi vara en elektrifiering av industri- och transportsektorn (Gode et al., 2021, s. 3).

Med framtidens förväntat höga efterfråga på energi i åtanke blir den uppenbara frågan att ställa sig var elen ska komma från. De största energikällorna i Sverige idag är vatten- och kärnkraft, följt av vindkraft. De två förra står för cirka 37 procent vardera av landets eltillförsel medan vindkraften står för ungefär elva procent (SCB, 2020b). Detta visualiseras i figur 1 nedan.

Vindkraft är utan tvekan en populär energikälla. Problemet med vindkraften är dock att den är beroende av vädret. Ingen vind – ingen energi. Ett land vars energikällor till övervägande del är vindbaserade gör sig således beroende av något som landet inte kan kontrollera. Vid de tillfällen då landet behöver mycket elektricitet, exempelvis under kalla och vindstilla vinterdagar, kommer man behöva importera sin energi från andra länder. Detta har två uppenbara nackdelar: 1) om flera länder som ligger geografiskt nära varandra vill köpa importelen samtidigt kommer priset skjuta i höjden på grund av den positiva efterfrågechocken. 2) det kan potentiellt utgöra ett säkerhetshot för ett land att göra sig beroende av andra länder för sin eltillförsel under kritiska perioder. Av dessa anledningar syftar denna uppsats att utreda SMR som en potentiellt mer pålitlig framtida energikälla.



Figur 1. Bruttotillförsel av elektricitet efter produktionsslag år 2019. Min sammanställning. Källa: SCB, 2020b.

En stor fördel med kärnkraften jämfört med vindkraft är att det är en stabil energikälla. Detta kan underlätta framförhållningen vad gäller eltilförseln. Jämfört med vattenkraft har kärnkraften fördelen att stora landområden inte behöver läggas under vatten, vilket kan påverka de lokala ekosystemen.

Det är förvisso möjligt att de klassiska, stora kärnkraftverkens tid är förbi i Sverige. De tidigare lagda nedstängningarna av Ringhals 1 och 2 gjordes enligt Vattenfall av "affärsmässiga skäl" (Vattenfall, u.å.e). Av denna anledning kommer denna text inte fokusera på de traditionella kärnkraftverken utan på små, serieproducerade så kallade små modulära reaktorer (SMR).

Den övergripande frågeställningen för denna uppsats är således: *hur ser SMR:s ekonomiska förutsättningar ut i Sverige?*

2. Metod

SMR är fortfarande en ny form av kärnkraft. Få SMR byggts till dags dato byggts, vilket innebär att mängden data ännu är begränsad (NEA, 2021, s. 16). Därför kommer denna uppsats fokusera mer på de teoretiska aspekterna av teknologin, snarare än empiri. För att försöka ge en så tydlig bild som möjligt av SMR:s ekonomiska förutsättningar i Sverige kommer denna text därför gå igenom ett flertal vetenskapliga artiklar som skrivits om SMR. Denna uppsats är med andra ord en litteraturgenomgång.

Artiklar från vetenskapliga databaser har legat till grund för denna uppsats. Genom att använda söktermerna ”small modular reactors”, ”smr”, ”smr economics” och ”smr finance” i LUB search och Google Scholar har relevanta artiklar för uppsatsen tagits fram. I Google Scholar har de artiklar med fler citeringar än andra prioriterats. I LUB search gjordes sökningen även med ämnestaggen ”economics” markerad. Ett antal av de artiklar och rapporter som används i denna uppsats har också använts som referens i någon av de artiklar som hämtats från LUB search och Google Scholar. Detta har gjorts i de fall det rått osäkerhet gällande vad en artikel menat vid något tillfälle, eller då det inte tydligt framgått vilka antaganden som ligger till grund för ett resonemang.

Då majoriteten av de artiklar som publicerats om SMR är skrivna av forskare med bas i USA och England är deras resonemang inte alltid direkt applicerbara på Sverige. Exempelvis är Locatellis et al. (2014, s. 81) diskussion om SMR:s lönsamhet jämfört med kol- och naturgaskraftverk inte direkt relevant i den svenska kontexten eftersom dessa energikällor är försumbara i Sverige.

Som kommer framgå längre ned i denna text bygger en hel del av resonemangen på antaganden som görs om diverse regelverk och lagar. Även dessa görs i en utländsk kontext. För att dessa resonemang inte ska gå förlorade strävar denna uppsats att efter bästa förmåga referera till motsvarande lagar och regleringar i Sverige.

2.1 Förkortningar och förtydligande

- FOAK – *first of a kind*
- kWe – kilowatt elektricitet
- kWh – kilowattimmar
- LCOE – *levelised cost of electricity*
- LWR – *light-water reactor* eller lättvattenreaktor
- MWe – megawatt elektricitet
- MWh – megawattimmar
- NOAK – *Nth of a kind*
- NPV – *net present value* eller nettonuvärde
- SMR – *small modular reactors* eller små modulära reaktorer

I denna text är termerna “traditionella kärnkraftverk”, “klassiska kärnkraftverk”, “stora kärnkraftverk” och “stora reaktorer” att betrakta som utbytbara. De åsyftar alla kärnkraftverk med reaktorer vars effekt är högre än 300 MWe.

3. Små modulära reaktorer

3.1. Introduktion till små modulära reaktorer

Små modulära reaktorer (SMR) är kärnkraftverk som i hög grad kan massproduceras i en fabrik för att sedan monteras och installeras på de platser där energin från reaktorn behövs. Dessa reaktorer är betydligt mindre än klassiska kärnkraftverk – små nog att kunna transporteras med lastbil eller tåg. Även om det inte finns några strikt definierade gränser för hur små eller stora SMR är brukar reaktorer med en effekt på 10–300 MWe åsyftas (Todreas, 2014, s. 3). Som jämförelse har reaktorerna vid Forsmark en effekt på cirka 1000–1200 MWe (Vattenfall, u.å.a). De vid Ringhals har en effekt på cirka 1100 MWe (Vattenfall, u.å.b).

Tekniskt sett kan SMR variera mycket. Exempelvis pågår forskning om så kallade generation 4-SMR med alternativa kylsystem. Dessa reaktorer är dock långt ifrån färdigutvecklade. Mest välutvecklad är så kallade lättvattenreaktorer (LWR efter engelskans *light-water reactor*). Flera LWR-SMR är redan under konstruktion runt om i världen och i Ryssland har några reaktorer redan tagits i bruk. Denna text kommer fokusera på LWR-SMR eftersom det är denna SMR-teknologi som är den mest utvecklade (NEA, 2021, s. 15–16).

Även om idén om små modulära reaktorer funnits länge är teknologin fortfarande i sin linda. En grundläggande tanke med SMR är att när en reaktor designats skall den kunna massproduceras i fabrik och sedan fraktas till platsen där kärnkraftverket skall ligga. Därtill kan även flera SMR kopplas samman vid en och samma anläggning för att uppnå en högre energiproduktion (Ingersoll, 2016, s. 16). Detta är dock ännu orealiserat, eftersom man ännu så länge inte tillverkat standardiserade serier av reaktorer utan bara enstaka exemplar. Troligtvis är dock detta bara ett temporärt problem. Ännu har inga SMR-fabriker byggts, men NuScale Power, det första företaget att få sin SMR-design godkänd i USA år 2020, planerar att inledningsvis använda existerande fabriker för att tillverka sina reaktorer. Längre fram, när tillräckligt många order lagts, kommer företaget bygga sin egen SMR-fabrik (NuScale Power, 2021a).

SMR är fortfarande ny teknologi. Detta medför att konkreta ekonomiska beräkningar är svåra att göra. Olika reaktordesigner skiljer sig åt och man har ännu inte börjat serietillverka de designers som godkänts av de relevanta myndigheterna. Detta medför att det blir svårt att beräkna exempelvis hur mycket en kWh elektricitet från en SMR kommer kosta att producera, sett till reaktorns livstid.

Små modulära reaktorer bör inte nödvändigtvis ses som substitut för, utan snarare komplement till stora reaktorer. De platser som kan gynnas mest av SMR är generellt sett små, avlägsna orter med ett behov av en stabil energikälla. Elektriciteten som behövs bör ligga mellan 300 och 1000 MWe. Lämpliga platser för SMR kan således vara öar, små avlägsna städer och forskningsbaser (Locatelli et al., 2014, s. 83). Om man för exemplens skull antar att SMR liksom stora reaktorer stängs av i cirka fyra veckor per år för underhållsarbete (se exempelvis Vattenfall, u.å.c och Vattenfall, u.å.d) kommer SMR kunna producera el 337 dagar, eller $24 * 337 = 8\,088$ timmar per år. Detta motsvarar en årlig energitillförsel om 2 426 400 till 8 088 000 MWh enligt formeln $MWh = MWe * timmar$. Då en genomsnittlig, ej eluppvärmd villa förbrukar cirka 5000 kWh energi per år (Fortum, 2021), skulle en SMR-anläggning i intervallet ovan kunna försörja mellan 485 280 och 1 617 600 villor.

Ytterligare ett användningsområde för SMR skulle kunna vara som komplement till förnybara energikällor med varierande effekt, exempelvis vindkraft. SMR kan då användas för att stabilisera elnätet (Locatelli et al., 2014, s. 80). Å andra sidan gör möjligheten att koppla ihop flera SMR vid ett kraftverk att SMR kan ses som ett substitut för stora reaktorer. Huruvida dessa kommer vara ekonomiskt hållbara jämfört med stora reaktorer råder det delade meningar om, något som avhandlas i sektion 4 av denna text. Om anläggningar med flera SMR faktiskt kommer vara lönsamma eller ej återstår att se. Värt att notera är dock att tidigare nämnda NuScale Power planerar att erbjuda kärnkraftverk med 12 SMR, vilket ger en sammanlagd effekt på 924 MWe (NuScale Power, 2021b).

3.2. Säkerhet

Kärnkraft uppfattas ibland som en farlig energikälla. Konsekvenserna av en olycka vid ett kärnkraftverk kan vara förödande. Att säga att en energikälla är farlig är dock i stort sett meningslöst om man inte jämför den med dess alternativ. Säkerhet är ett ord som kan ha många olika betydelser beroende på vilken kontext ordet används i. I denna del av uppsatsen kommer energikälla A betraktas som säkrare än energikälla B om elproduktionen i A kostar färre människoliv än i B.

Hur står sig då kärnkraften mot andra energikällor ur en säkerhetssynpunkt? Forskning visar att kärnkraften är betydligt säkrare än vad många tror. En undersökning gjord av Kharesha och Hansen (2013) menar att 1,8 miljoner dödsfall förhindrades under perioden 1971–2009 på grund av att kärnkraft användes för att producera elektricitet. Författarna menar att om det inte vore för kärnkraften så hade fossila bränslen – kol och naturgas – använts i stället för att producera elektriciteten. Den främsta anledningen till att kärnkraften är en förhållandevis säker energikälla är alltså enligt författarna de låga utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser. I en annan studie med data från 2012 jämförs dödsfall för olika energikällor globalt sett. Här får kärnkraften det lägsta värdet för “dödsfall per tusen terawattimmar” (Statista, 2018).

Att kärnkraft är betydligt säkrare än vad många tror betyder naturligtvis inte att det är helt utan risk. Ett problem man inte kommer undan är att om en olycka sker så kommer reaktorn fortsätta generera värme och i vissa fall radioaktivitet en tid efter att reaktorn stängts av (Ingersoll, 2016, s. 74). Inom litteraturen hävdas däremot att detta problem inte är lika allvarligt för SMR som det är för stora reaktorer. En anledning är att eftersom SMR är mindre än stora reaktorer så finns det mindre värme som måste föras bort (ibid, 76). En annan anledning är att SMR-designer ofta använder sig av så kallade “passiva säkerhetssystem”. Detta innebär att reaktorn använder naturkrafter, exempelvis gravitation, för att föra bort värme (ibid, 77–78). Med andra ord avlägsnas värme mer eller mindre av sig självt, utan att man aktivt behöver göra någonting. Därtill kan man tänka sig att eftersom SMR är standardiserade och tillverkas i fabrik bör reservdelar vara mer lättillgängliga. Om någon komponent behöver bytas ut bör detta kunna göras snabbt, vilket minskar risken för olyckor.

4. Ekonomisk analys

Inom litteraturen jämförs SMR:s ekonomiska förutsättningar nästan uteslutande med stora reaktorer, kolkraft och naturgaskraftverk. Att SMR inte jämförs med vattenkraft inom litteraturen gör det svårt att säga särskilt mycket om skillnaderna mellan dessa två energikällor. Undersökningar som utvärderar den svenska kärnkraften i relation till vattenkraften har förvisso gjorts, med blandade slutsatser om hur viktig kärnkraften egentligen är (se exempelvis diskussionen i Kan et al., 2020). Men eftersom dessa studier behandlar traditionell kärnkraft, och eftersom SMR skiljer sig åt från stora reaktorer på ett flertal punkter, är det inte meningsfullt

att använda dessa källor som grund för en ekonomisk analys av SMR jämfört med vattenkraft. Att få källor utreder hur SMR står sig mot vattenkraft ekonomiskt behöver å andra sidan inte vara ett problem för denna uppsats eftersom få om några röster i den svenska debatten vill avveckla och ersätta vattenkraften. Denna diskussion lämnas därför därhän.

Ett kärnkraftverks totala kostnader över hela dess livslängd kan generellt sett delas upp i fyra kategorier: anläggningskostnader, drift- och underhållskostnader, bränslekostnader och avvecklingskostnader (Mignacca och Locatelli, 2020, s. 3). Av dessa utgör anläggningskostnaderna den största andelen – ibland över 70 procent (Martin, 2020). Här följer en genomgång av var och en av dessa kostnader.

4.1. SMR:s kostnader

4.1.1. Anläggningskostnader

För att bedöma om en investering bör göras eller inte kan man använda sig av nettonuvärdesberäkningar. Detta innebär att man räknar ut vad framtida kassaflöden är värda idag. Ekvationen för detta kan skrivas som: $NPV = \sum_{t=1}^n \frac{FV_t}{(1+r)^t}$ där NPV står för nettonuvärde (*net present value*); FV_t är det framtida värdet av ett kassaflöde vid tidpunkten t ; r är diskonteringsräntan; t är antalet tidpunkter. Människors tidspreferens innebär att de hellre konsumerar idag än någon gång i framtiden. Detta innebär att kassaflöden som ligger tidsmässigt nära är mer betydelsefulla än mer avlägsna kassaflöden. Ju närmre ett kassaflöde är att inträffa desto högre nuvärde har det (Byström, 2014, ss. 38–39).

En av de största fördelarna med SMR jämfört med stora reaktorer är att konstruktionstiden väntas vara avsevärt mycket kortare för SMR (Veigel och Quinn, 2017, s. 396). Stora kärnkraftverk är dels dyra, dels tar de lång tid att bygga. Detta innebär att investerare inledningsvis kommer ha negativa kassaflöden. En investerare måste således vänta ett flertal år innan han eller hon ser positiva kassaflöden. Men då dessa sker relativt långt in i framtiden har

de ett relativt lågt nuvärde. Som beskrevs i stycket ovan väger närliggande kassaflöden tyngre än avlägsna sådana i NPV-ekvationen. Därtill är förseningar i konstruktionen av stora kärnkraftverk inte ovanliga. Förseningarna beror inte sällan på att man lägger stort fokus på att bygga större, mer sofistikerade reaktorer. Att nya projekt skiljer sig åt från gamla medför att man inte nödvändigtvis kan tillämpa samma lösningar på eventuella problem som uppstår (Locatelli et al., 2014, s. 83). Ett geografiskt närliggande exempel på ett reaktorbygge som präglats av förseningar är Olkiluoto 3 i Finland. Denna reaktor har varit under konstruktion sedan 2005 och väntas, efter ett antal förseningar, tas i bruk år 2022 (TVO, u.å.). Allt detta bidrar till att investeringar i stora kärnkraft kan te sig oattraktiva för potentiella investerare.

Eftersom tanken med SMR är att man ska tillverka flera reaktorer utifrån samma design och dessa reaktorer är betydligt mindre och enklare än stora reaktorer, är det rimligt att anta att SMR-produktionen inte kommer medföra lika långa konstruktionstider som för stora reaktorer. Problemet med att reaktorer skiljer sig åt och att lösningar på problem för reaktor A inte nödvändigtvis fungerar på reaktor B undviks också.

Långa konstruktionstider gör att projektets nuvärde minskar. Ju mer avlägsen inkomsten är, desto mindre är värdet av den framtida inkomsten idag. Detta blir högst relevant för stora investeringar, exempelvis investeringar i kärnkraftverk.

Stora kärnkraftverk kostar flera miljarder dollar att bygga (Ingersoll, 2016, s. 95). Anläggningskostnaderna för dessa är med andra ord väldigt höga. Vanligtvis brukar konstruktionstiden uppskattas vara runt sex år, men två stora kärnkraftverk i USA väntas ta tio år att bygga (Veigel och Quinn, 2017, s. 397). Investeringar i stora kärnkraftverk kännetecknas alltså av höga anläggningskostnader och långa konstruktionstider. De långa konstruktionstiderna innebär att investerare måste vänta länge innan de ser någon vinst från investeringen. Detta medför sannolikt att stora kärnkraftverk är oattraktiva för många potentiella investerare; man kan göra vinst snabbare om man i stället väljer att investera i ett annat projekt.

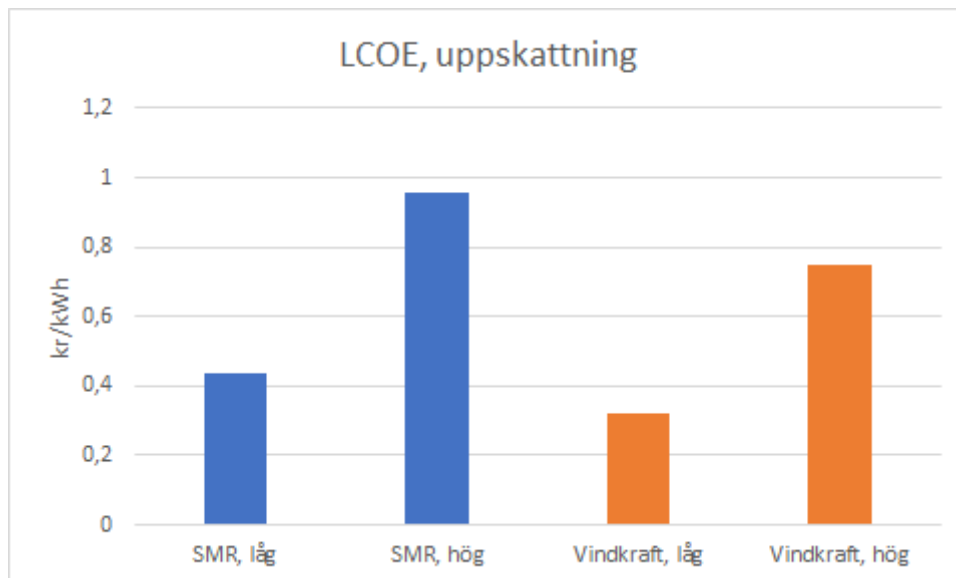
Hur står sig SMR mot stora reaktorer med vad som nämns i stycket ovan i åtanke? Konstruktionstiden för en SMR uppskattas vara tre år (ibid, s. 397). Eftersom SMR är tänkta att utgå från en design och i stort sett vara identiska bör även eventuella förseningar i konstruktionen vara färre och kortare. När en lösning på ett problem hittats kommer man kunna

tillämpa denna lösning på andra SMR av samma design. Tiden en investerare måste vänta innan han eller hon ser positiva kassaflöden är alltså avsevärt mycket kortare för SMR än för stora reaktorer. Planerar man att bygga en anläggning med flera SMR kan man använda intäkterna från den första reaktorn för att finansiera resterande reaktorer. En investerare som agerar på detta vis kommer ha en mindre skuld än en investerare som köper samtliga reaktorer samtidigt. Således behöver inte investeraren betala lika mycket i ränta. Å andra sidan kommer det ta längre tid innan investeraren gör vinst på sin investering, eftersom investeraren fortsätter investera i nya reaktorer under en längre tidsperiod (Locatelli et al., 2014, s. 83; Ingersoll, 2016, ss. 96–97). Hur viktig denna punkt är går dock att diskutera. I ett land med fungerande kapitalmarknader kan man helt enkelt låna det belopp som krävs för en investering som bedöms vara lönsam.

Ett vanligt förekommande begrepp inom litteraturen om SMR:s ekonomiska förutsättningar är *levelised cost of electricity* (LCOE). LCOE uttrycker de totala kostnaderna för kärnkraftverkets hela livslängd dividerat med den totala mängd energi som produceras och uttrycks vanligtvis \$/KWh (Mignacca och Locatelli, 2020, s. 3). Ett lönsamt kraftverk kännetecknas alltså av en låg LCOE, vilket kan uppnås genom att antingen sänka kostnaden för anläggningen, öka dess effekt eller förlänga reaktorns livslängd.

Eftersom SMR fortfarande är ny teknologi och få reaktorer faktiskt byggts är det svårt att säga med säkerhet vad dess LCOE är. Till detta hör också att många reaktordesigner är under utveckling och variationer mellan dessa gör det ytterligare svårt att med säkerhet veta hur höga kostnaderna för SMR är och således deras lönsamhet. Mignacca och Locatelli (2020, s. 10) har gjort en grafisk sammanställning om uppskattad LCOE för SMR från flera vetenskapliga artiklar. Här visas det att SMR:s förväntade LCOE är förhållandevis hög: cirka \$50 till \$110 per MWh. De stora skillnaderna i uppskattningarna (mer än 100 procent) är också ett tecken på oenigheten som råder i mycket av litteraturen kring SMR. Vid första anblick kan detta tolkas som att SMR helt enkelt inte är lönsamma. Dock är teknologin som tidigare nämnts fortfarande ny. Det är fullt tänkbart att förenklingar och effektiviseringar kan komma i framtiden som sänker kostnaden för reaktorerna. Detta skulle medföra att LCOE sjunker och SMR blir en mer konkurrenskraftig energikälla. För att nå denna punkt kommer man behöva investera i

teknologin även till de inledningsvis höga priserna. Därtill är det värt att notera att de lägre uppskattningarna av SMR:s LCOE faktiskt är lägre än vissa höga uppskattningar av den svenska vindkraftens LCOE. Detta visas i figur 2 nedan.



Figur 2. Uppskattat LCOE för SMR och planerade landbaserade vindkraftsanläggningar i Sverige. Som diskuteras i sektion 4.1.4. är avvecklingskostnader en underutvecklad del av litteraturen om SMR. I figur 2 har avvecklingskostnaderna därför beräknats på olika sätt för de två uppskattningarna av SMR:s LCOE. Värdena för SMR är konverterade från MWh till kWh. Växelkursen som använts är \$1 = 8,69 SEK. Min sammanställning. Källa: Kulin et al., 2016, s. 46; Mignacca och Locatelli, 2020, s. 10.

Ett argument som har förts fram mot SMR är att intresset helt enkelt inte är tillräckligt stort för att rättfärdiga investeringar i och vidareutveckling av teknologin (Ingersoll, 2016, s. 101). Huruvida detta är korrekt eller inte är för tidigt att säga. Vad man däremot kan veta med säkerhet är att det finns ett intresse för SMR (NEA, 2021, s. 16). CAREM, en reaktor med effekt på 30 MWe som utvecklats av den argentinska myndigheten CNEA, är för närvarande under konstruktion i Argentina. I Kina håller det statligt ägda företaget China General Nuclear på att konstruera en SMR med en effekt på 60 MWe. I Ryssland har två SMR med effekt på 35 MWe redan tagits i bruk. Dessa reaktorer har utvecklats av OKBM Afrikantov, ett aktiebolag och dotterbolag till det statliga företaget Rosatom (ibid, s. 18). Även från akademien finns intresse för SMR. Exempelvis har Kungliga Tekniska Högskolan ingått ett samarbete med företagen Uniper och Blykalla med syftet att bygga en test-SMR (KTH, 2021).

Om intresset för SMR är tillräckligt stort för att man en dag ska nå en LCOE för SMR som är konkurrenskraftig med andra energikällor återstår att se. Vad som dock är värt att notera är att det finns studier som menar att de inledningsvis höga kostnader som är förknippade med nya produkter (FOAK, från engelskans *first of a kind*) försvinner efter att tio SMR byggts. Hälften av FOAK-kostnaderna förväntas försvinna efter att två reaktorer byggts (Veigel och Quinn, 2017, s. 397). Om denna uppskattning är korrekt verkar det inte omöjligt att man når de lägre kostnaderna (NOAK, från engelskans *Nth of a kind*). Om NOAK-kostnaderna för SMR är tillräckligt låga för att teknologin ska vara konkurrenskraftig med andra energikällor får framtiden utvisa. Om dessa kostnader infaller tillräckligt lågt i intervallet från figur 2 verkar det som att SMR:s kostnader faktiskt är tillräckligt låga för att kunna konkurrera med andra energikällor. I dagsläget råder det delade meningar om denna punkt. Vissa menar att även NOAK-kostnaderna för SMR kommer vara höga jämfört med andra energikällor (se exempelvis NEA, 2016, s. 50). Andra menar att till exempel förenklingar av reaktorerna kan komma att sänka deras kostnader (se exempelvis Ingersoll, 2016, s. 101–102).

4.1.2. Drift- och underhållskostnader

Med drift- och underhållskostnader åsyftas de kostnader som kärnkraftverket ger upphov till när det är färdigbyggt. Här ingår exempelvis löner för anställda, reparationskostnader, diverse avgifter och så vidare. Somliga artiklar inkluderar bränslekostnader under denna punkt, medan andra behandlar bränslekostnader separat. Bränslekostnader kommer i denna text behandlas separat.

Som så mycket annat rörande SMR råder det oenighet kring hur höga drift- och underhållskostnaderna är jämfört med andra energikällor. Mignacca och Locatelli (2020, s. 9) granskar flera studier som samtliga menar att drift- och underhållskostnader utgör en större del av de totala kostnaderna för SMR än för stora reaktorer. Ett av de främsta argumenten för detta är att kärnkraft har tilltagande skalavkastning. Detta innebär att om produktionsfaktorerna ökar med faktorn X så ökar produktionen med mer än X (se exempelvis Bergh och Jakobsson, 2017, s. 150). Vid tilltagande skalavkastning blir styckkostnaden för varje producerad enhet lägre när

produktionen ökar. Eftersom stora reaktorer kan ha en avsevärt mycket högre effekt än SMR blir driftkostnaden per kWh alltså lägre för stora reaktorer än för SMR.

Å andra sidan finns det de som menar att drift- och underhållskostnader kan vara lägre för SMR än för stora reaktorer. Argumenten för detta är dock avhängiga på hur kärnkraftverket med SMR organiseras och att denna organisering tillåts av de relevanta tillsynsmyndigheterna. Denna diskussion kommer därför granskas närmare i sektion 4.2 av denna text.

Som tidigare nämnts är en viktig skillnad mellan SMR och stora reaktorer att SMR i hög grad är standardiserade. Detta torde medföra att det finns ett lager av reservdelar för komponenter som deprecierar i SMR. När en komponent slitits ut bör man därför kunna byta ut den snabbt. Därtill kommer SMR:s standardiserade komponenter sannolikt vara billigare än de stora reaktorernas specialkonstruerade komponenter. Att motsvarande lager existerar för stora reaktorer är inte givet eftersom många av komponenterna i stora kärnkraftverk är specialtillverkade för just den anläggningen (Ingersoll, 2016, ss. 102–103). I sektion 4.1.1 diskuterades att konstruktionsförseningar förväntas vara färre och kortare för SMR än för stora reaktorer på grund av SMR:s standardisering. Detsamma bör också gälla för underhållsarbete. Ju snabbare underhållsarbetet går, desto kortare period måste reaktorn vara avstängd. Detta medför att SMR bör kunna producera elektricitet med mindre produktionsstörningar än stora reaktorer, vilket är önskvärt för såväl investerare som konsumenter. Ju kortare tid reaktorn är avstängd desto mer elektricitet kan den producera. Som nämnades tidigare är de svenska kärnkraftverken avstängda i drygt fyra veckor per år för underhållsarbete. Alternativkostnaden när en reaktor är avstängd är intäkterna man hade fått om reaktorn producerat el. Det ligger därför i reaktorägarens intresse att reaktorn producerar el så stor del av tiden som möjligt. Att mindre potentiella intäkter går förlorade för SMR än för stora reaktorer bör vara intressant för potentiella investerare.

4.1.3. Bränslekostnader

Bränslekostnader är en av de få delar av litteraturen om SMR:s ekonomi där det verkar råda konsensus. De flesta artiklar tycks vara överens om att bränsle utgör en liten del av SMR:s

totala kostnader och att bränslekostnaden per MWh är jämförbar med stora reaktorer (se exempelvis Mignacca och Locatelli, 2020, s. 2). Rosner och Goldberg (2011, s. 19) uppskattar bränslekostnaden för SMR till \$8,53 per MWh i 2011 års dollarvärde. Vogel och Quinn (2017, s. 398) anger \$9,10 per MWh som ett lämpligt estimat av SMR:s bränslekostnader. Som jämförelse ligger bränslekostnader för stora reaktorer av typen avancerade lättvattenreaktorer – stora reaktorer med en effekt högre än 1000 MWe – mellan \$6,5 och \$13 per MWh (NEA, 2016, s. 20).

4.1.4. Avvecklingskostnader

Avvecklingskostnader verkar vara den del av SMR:s totala kostnader som utforskats minst i litteraturen. Flera artiklar som utforskar SMR:s ekonomiska förutsättningar utelämnar denna punkt helt eller nämner den bara i förbifarten (se exempelvis Mignacca & Locatelli, 2020, s. 13). En av de artiklar som faktiskt utreder SMR:s avvecklingskostnader jämför dels en stor reaktor med effekt på 1340 MWe kontra fyra små reaktorer med effekt på 335 MWe, dels två stora reaktorer kontra åtta små. Värt att notera här är att de små reaktorer som artikeln granskar har en högre effekt än vad som vanligtvis anses den övre gränsen för SMR (300 MWe). Detta skulle kunna ses som anledning att inte lägga för stor vikt vid denna beräkning av SMR:s avvecklingskostnader, men artikeln nämns ändå i denna text eftersom utbudet av artiklar på detta område är väldigt litet. Artikeln i fråga kommer fram till att om man endast tittar på skalfördelarna för stora reaktorer är avvecklingskostnaderna för de små reaktorerna 3,09 gånger så höga som för de stora reaktorerna. Om man däremot tar i beaktande de lägre kostnader som uppstår genom att ha flera SMR vid samma anläggning samt de tekniska besparingarna som görs då reaktorerna är modulära minskar avvecklingskostnaden. Kostnaden uppskattas dock fortfarande vara högre för SMR än för stora reaktorer (Locatelli & Mancini, 2010, refererad i Mignacca & Locatelli, 2020, s. 9).

Vad gäller avvecklingskostnaderna kan det även vara värt att återigen nämna nettonuvärde. Den grundläggande idén bakom NPV är som bekant att kassaflöden som är tidsmässigt avlägsna har lägre nuvärde än kassaflöden som är tidsmässigt nära. Eftersom avvecklingskostnaderna är negativa kassaflöden som uppstår vid slutet av kärnkraftverkets livscykel så är kostnaderna

tidsmässigt avlägsna. Exempelvis menar Vogel & Quinn (2017, s. 398) att SMR har lika lång livslängd som stora reaktorer, det vill säga cirka 60 år. Teorin om nettonuvärde torde alltså innebära att avvecklingskostnaderna har ett relativt lågt nuvärde. Med det i åtanke behöver inte dessa kostnader som är jämförelsevis höga för SMR vara ett oöverstigligt hinder för teknologins lönsamhet.

Avslutningsvis för denna sektion bör återigen sägas att avvecklingskostnader verkar vara ett försummat område av forskningen kring SMR:s ekonomiska förutsättningar. Mer forskning behöver sannolikt göras innan man med säkerhet kan uttala sig med säkerhet om detta ämne.

4.2. Politiska och praktiska förutsättningar för SMR

Inom litteraturen kring SMR betonas ofta vikten av tydliga och stabila regelverk (se exempelvis Ingersoll, 2016, s. 107; Vogel & Quinn, 2017, ss. 402–403). Ett av de mest uppenbara hindren för SMR i Sverige är följande:

Regeringen får tillåta en ny kärnkraftsreaktor endast om den nya reaktorn är avsedd att

1. ersätta en kärnkraftsreaktor som efter den 31 maj 2005 har varit i drift för att utvinna kärnenergi och som kommer att vara permanent avstängd när den nya reaktorn tas i kommersiell drift, och

2. uppföras på en plats där en kärnkraftsreaktor efter den 31 maj 2005 har varit i drift för att utvinna kärnenergi. (Miljöbalk 1998:808 1 kap. 6a §).

Sedan den 31 maj 2005, dagen den sista reaktorn vid Barsebäcks kärnkraftverk stängdes ned, har tio reaktorer varit i bruk i Sverige: fyra vid Ringhals, tre vid Forsmark och tre vid Oskarshamn. Med nuvarande lagstiftning får alltså som mest tio nya reaktorer byggas i Sverige, under förutsättning att de sex reaktorer som fortfarande är i bruk permanent stängs ned.

Eftersom energikonsumtionen förväntas öka i Sverige i takt med att bland annat industrier skiftar till fossilfria produktionsmetoder ter sig SMR, med nuvarande lagstiftning, som en dålig lösning. Eftersom SMR har lägre effekt än stora reaktorer blir de förra olämpliga för att möta den förväntade högre energiefterfrågan i landet. Om lagstiftningen skulle ändras – exempelvis till att flera reaktorer med motsvarande effekt får ersätta en avstängd reaktor – skulle SMR inte längre vara lika oattraktiva.

Andra möjliga hinder för SMR som ofta nämns i litteraturen är frågan om licensiering och avgifter (se exempelvis *Vegel & Quinn, 2017, s. 396, 402*). Exempelvis poängterar *Vegel och Quinn (2017, s. 403)* hur inkonsekvenser i lagstiftningen i USA leder till att en SMR-anläggning med fyra reaktorer med en effekt på 225 MWe vardera kostar mer i avgifter än en anläggning med en stor reaktor med effekt på 1000 MWe. Författarna drar slutsatsen att lagstiftningen bör ändras så att ägarna av kärnkraftverket betalar ett visst belopp per MWe kärnkraft, oavsett hur många reaktorer kraftverket innefattar, för att SMR ska kunna konkurrera med stora reaktorer.

Även i Sverige finns problemet med avgifter:

Avgift enligt 4 § 1 ska betalas till Strålsäkerhetsmyndigheten med 101 400 000 kronor, om ansökan avser uppförande av en kärnkraftsreaktor som ska ersätta en permanent avstängd kärnkraftsreaktor [...] (SFS 2008:463, 5 §).

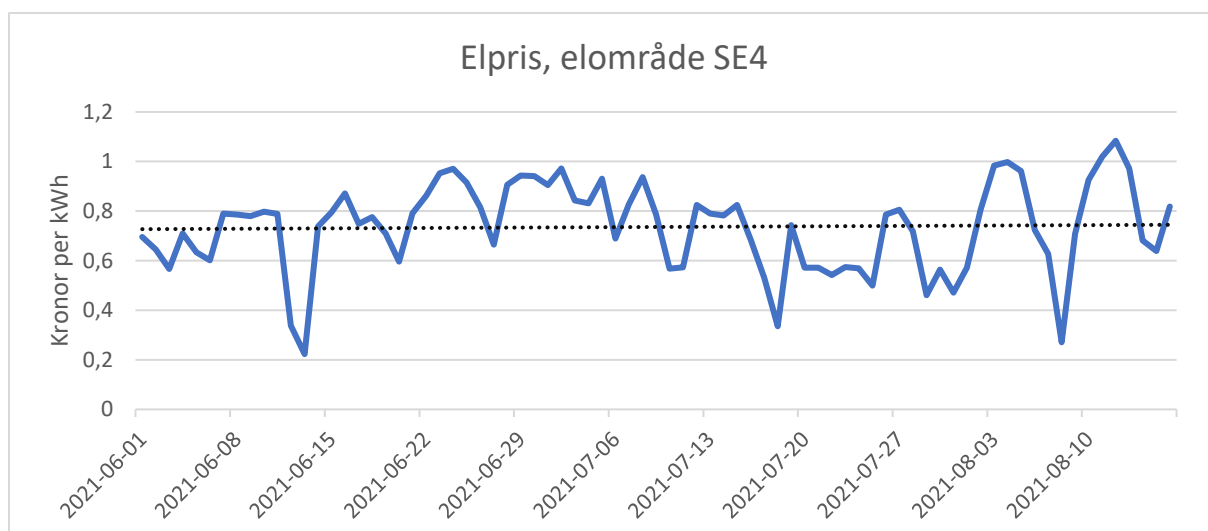
För att använda ett liknande räkneexempel som stycket ovan: den som ansöker om tillstånd att bygga ett kärnkraftverk med fyra SMR med effekt på 225 MWe vardera behöver betala en avgift på $4 * 101\,400\,000 = 405\,600\,000$ kr medan den som vill bygga ett kärnkraftverk med en stor reaktor med effekt på 1000 MWe endast behöver betala 101 400 000 kr. Återigen, detta bör kunna åtgärdas relativt enkelt, förutsatt att den politiska viljan finns. En möjlig lösning är *Vegel och Quinns (2017, s. 403)* förslag där investeraren betalar ett belopp per MWe, snarare än antalet reaktorer.

Både beslutet om hur många reaktorer som får finnas i Sverige och hur hög avgiften skall vara per reaktor fattades med stora kärnkraftverk i åtanke. Dessa beslut slår fel när man nu arbetar med att utveckla SMR.

Som nämndes i sektion 4.1.2 finns det vissa som menar att drift- och underhållskostnader kan vara lägre för SMR än för stora reaktorer. Exempelvis argumenterar Ingersoll (2016, s. 105) att skillnader i design mellan SMR och stora reaktorer kan sänka drift- och underhållskostnaderna för SMR. En skillnad som nämns är att många SMR är tänkta att placeras under jord. Placeringen ger reaktorn ett naturligt skydd och möjligtvis behöver inte lika många säkerhetsvakter anställas. Därtill nämner författaren att det skulle kunna vara möjligt att övervaka flera sammankopplade SMR vid en anläggning från ett enda kontrollrum. Båda dessa möjliga fördelar för SMR är dock beroende av att de godkänns av beslutsfattare. Återigen är detta avhängigt på lagstiftarna; om den politiska viljan finns bör det inte vara särskilt svårt att driva igenom förändringar som är ekonomiskt gynnsamma för SMR.

5. Diskussion

Om Sverige i framtiden väljer att satsa på förnybara energikällor, exempelvis vind- och solkraft, kommer landets energiförsörjning inte vara lika stabil som den är idag, där merparten av energin kommer från de förutsägbara källorna kärn- och vattenkraft. Vid de tillfällen då solen inte skiner och vinden inte blåser kommer man med högsta sannolikhet behöva importera el för att undvika effektbrist, det vill säga att mängden el som finns tillgänglig är mindre än elen som efterfrågas i ett givet ögonblick. När detta händer riskerar elpriset att stiga kraftigt i och med att efterfrågan på icke-väderberoende energi ökar plötsligt. Det är inte otänkbart att priset på elektricitet i ett sådant fall skulle stiga till en nivå där även de högre beräkningarna av SMR:s LCOE hade varit mer lönsamma än att importera el. Under perioden 1 juni–16 augusti 2021 varierade elpriset i elområde SE4 – Skåne, Blekinge och Kronobergs samt delar av Kalmar, Jönköping och Hallands län – mellan cirka 0,22 och 1,08 kronor per kWh (Nordpool, 2021). Detta visas grafiskt i figur 3 nedan.



Figur 3. Elpris i elområde SE4 under perioden 1 juni–16 augusti 2021. Konverterat från MWh till kWh och Euro till SEK enligt växelkursen €1 = 10,2 SEK. Den streckade linjen, medelvärdet $\approx 0,74$ kr per kWh. Min sammanställning. Källa: Nordpool, 2021.

Lägg märke till att dessa höga elpriser inträffade under sommaren, då elpriserna i Sverige vanligtvis är lägre än under vinterhalvåret. Under den angivna perioden var det genomsnittliga priset på en kWh drygt 0,74 kronor. Detta ligger över mittpunkten av LCOE-intervallet för SMR som redovisades i figur 2 (cirka 0,7 kr per kWh). Med andra ord är det möjligt att SMR hade varit prismässigt konkurrenskraftigt i södra Sverige under detta års sommarmånader. Detta innebär naturligtvis inte att man blint bör satsa på SMR för att säkra Sveriges framtida energiförsörjning, men det skulle kunna ses som ett tecken på att man inte helt bör förkasta teknologin. Om SMR har en roll att spela i landet är det möjligt att det är just i syd teknologin är mest lämplig.

Meningen med denna uppsats var att utreda hur SMR:s ekonomiska förutsättningar ser ut i Sverige. Ändå har stora delar av texten ägnats åt att diskutera lagar och dess konsekvenser för SMR. Detta bör inte i första hand ses som att uppsatsen svävar ifrån dess uttalade syfte. Snarare bör det ses som nödvändigt för att förstå varför den svenska kärnenergi marknaden ser ut som den gör. Sedan årtionden tillbaka har den politiska sfären genom sina beslut direkt påverkat den svenska kärnkraftens ekonomiska förutsättningar. År 1987 introducerades 6 § av kärntekniklagen (1984:3) som löd:

Ingen får utarbeta konstruktionsritningar, beräkna kostnader, beställa utrustning eller vidta andra sådana förberedande åtgärder i syfte att inom landet uppföra en kärnkraftsreaktor (Motion 2005/06:N212).

Detta förbud mot forskning om kärnkraft upphörde först år 2006 då riksdagen röstade för proposition 2005/06:76 som avskaffade 6 § av kärntekniklagen. I 19 år var det alltså inte tillåtet att beräkna kostnader för framtida kärnkraftverk i Sverige.

Ett annat exempel på när man från regeringshåll implementerat lagar som påverkar den svenska kärnkraftens ekonomiska förutsättningar är lag (2000:466) om skatt på termisk effekt i kärnkraftsreaktorer. Denna lag gällde fram till 2018 och innebar att en punktskatt ålades de svenska kärnkraftverkens termiska effekt, det vill säga hur mycket värme de kan producera. Denna lag innebar att produktionen av kärnkraftsenergi beskattades annorlunda än produktionen av energi från alternativa källor. Detta torde ha medfört att kärnkraften blev mindre lönsam jämfört med andra energikällor under den period då punktskatten gällde. I sin tur bör detta ha lett till att färre investeringar gjordes i den svenska kärnkraften än vad som hade gjorts om skatten aldrig implementerats. Färre investeringar innebär rimligtvis negativa implikationer på kärnkraftens ekonomi. Utan någon kontrollgrupp att jämföra investeringarna i kärnkraften mot blir det däremot svårt att med säkerhet säga om resonemanget som presenterats här faktiskt stämmer. Kanske hade kärnkraftsinvesteringarna sett likadana ut även utan skatten.

6. Sammanfattning

Syftet med denna uppsats var att utreda hur SMR:s ekonomiska förutsättningar ser ut i Sverige och i förlängning om SMR är att betrakta som en lämplig lösning på framtidens energibehov. Som har visats ovan råder det stor oenighet inom litteraturen gällande hur lönsamma SMR faktiskt är. Eftersom intresset för teknologin verkar stort från såväl statligt som privat och

akademiskt håll, verkar det sannolikt att bilden av SMR:s ekonomiska aspekter inom en snar framtid klarnar i takt med att mer forskning bedrivs och reaktorer konstrueras. För närvarande är dock de beräkningar av SMR:s kostnader som finns vitt skilda. Enligt de högre uppskattningarna av en LCOE på runt 0,95 kr per kWh som redovisades i figur 2 blir produktionskostnaderna för SMR-elektricitet helt enkelt för höga. I detta fall kan SMR inte konkurrera med andra energikällor ekonomiskt och man bör inte investera i SMR, åtminstone på ekonomisk grund. Om det å andra sidan visar sig att uppskattningen om en LCOE på cirka 0,44 kr per kWh ligger närmre det korrekta värdet är det mycket möjligt att SMR är prismässigt konkurrenskraftigt med andra energikällor.

Mer forskning behöver göras innan man med säkerhet kan fatta välgrundade beslut om SMR:s vara eller inte vara i Sverige. I synnerhet behöver frågan om avvecklingskostnader utforskas närmre då detta är en aspekt av SMR:s ekonomi som ägnats för lite uppmärksamhet inom litteraturen. Detta är för övrigt speciellt intressant i den svenska kontexten med tanke på Svensk Kärnbränslehanterings planer på att bygga ut slutförvaret för kärnkraftsavfall i Forsmark. Processen har pågått i årtionden och senast 2022 ska regeringen fatta beslut om slutförvaret får byggas ut (Östhammars kommun, 2021).

Politikens roll i SMR:s ekonomiska förutsättningar tål åter att poängteras. Med de nuvarande regleringarna i Sverige ter det sig högst osannolikt att SMR skulle kunna vara lönsamma. Dels finns det en maxgräns för hur många aktiva kärnkraftsreaktorer som får finnas i landet samtidigt. Detta omöjliggör praktiskt sett kärnkraftverk med flera seriekopplade SMR. Visserligen skulle man kunna nöja sig med att ha som mest tio SMR i Sverige, men detta ger en låg effekt. Exempelvis har SMR-designen som utvecklats av NuScale Power en effekt på 77 MWe (NuScale Power, 2021c). En anläggning med tio av NuScales SMR har alltså en effekt på 770 MWe. Denna effekt motsvarar endast cirka 70 procent av *en* av reaktorerna vid Ringhals (Vattenfall, u.å.b). Den mest uppenbara frågan blir inte i detta fall huruvida SMR är lönsamma, utan om de genererar tillräckligt mycket elektricitet för att tillfredsställa Sveriges behov. Svaret på den frågan blir sannolikt nej. Detta behöver dock inte vara anledning att överge idén om SMR. Eftersom maxgränsen för antalet reaktorer är bestämd på politisk väg kan den också ändras medelst politik. I vårens partiledardebatt tog Moderaternas, Kristdemokraternas,

Liberalernas och Sverigedemokraternas partiledare ställning för kärnkraften (SVT, 2021, 47:37). Om dessa får tillräckligt många mandat efter nästa val för att kunna driva igenom kärnkraftsvänliga reformer får framtiden utvisa.

Förutom begränsningen av hur många kärnkraftreaktorer som får finnas i Sverige finns det som tidigare nämnts också regler som ålägger investerare en avgift på drygt 100 miljoner kronor *per reaktor* (SFS 2008:463, 5 §). Som nämntes i sektion 4.2. kan detta innebära inkonsekvenser gällande hur stora avgifter två effektmässigt lika kärnkraftsanläggningar ger upphov till. Med nuvarande föreskrifter hamnar SMR i en ekonomiskt ofördelaktig situation. Anläggningskostnaderna, som redan utgör merparten av ett kärnkraftverks totala kostnader, blir oproportionerligt höga för anläggningar med flera seriekopplade SMR. Formuleringen av avgiften skulle kunna ändras till något i stil med att investerare behöver betala en viss summa per planerad MWe kärnkraftsenergi. På detta sätt bevarar man den befintliga avgiften nya kärnkraftsbyggen åläggs, samtidigt som SMR inte sätts i en ofördelaktig situation jämfört med stora reaktorer.

Sammanfattningsvis tål att sägas att svaret på frågan om hur SMR:s ekonomiska förutsättningar ser ut i Sverige är långt ifrån tydligt. Enligt vissa beräkningar av exempelvis SMR:s LCOE bör teknologin kunna konkurrera prismässigt med andra energikällor, medan andra beräkningar menar att SMR åtminstone fortfarande är för dyrt. Mer forskning behöver göras, gärna med mer faktiska data snarare än antaganden, innan storskaliga investeringar i SMR övervägs. När denna uppsats skrevs fanns det ont om empiri gällande SMR, men då ett antal reaktorer håller på att byggas runt om i världen lär bristen på data vara ett övergående problem. Dock är lagändringar en förutsättning för att SMR ska ha en chans att konkurrera mot alternativa energikällor i Sverige.

7. Referenslista

Byström, Hans. 2014. *Finance*. 3 uppl. Lund: Studentlitteratur.

Fortum. 2021. *Elförbrukning och elanvändning*.

<https://www.fortum.se/privat/smarta-hem/energismart-hemma/elforbrukning-elanvandning>

(Hämtad 2021-05-23).

Gode, Jenny; Löfblad, Ebba; Unger, Thomas; Renström, Julia; Holm, Johan och Montin, Stefan. 2021. *Efterfrågan på fossilfri el - Analys av högnivåscenario*. Energi: Energiforsk & Profu på uppdrag av Energiföretagen Sverige.

[https://www.energi.se/globalassets/dokument/fardplaner/scenario-2045-april-](https://www.energi.se/globalassets/dokument/fardplaner/scenario-2045-april-2021/scenarioanalys-efterfragan-fossilfri-el-2045-slutrapport.pdf)

[2021/scenarioanalys-efterfragan-fossilfri-el-2045-slutrapport.pdf](https://www.energi.se/globalassets/dokument/fardplaner/scenario-2045-april-2021/scenarioanalys-efterfragan-fossilfri-el-2045-slutrapport.pdf) (Hämtad 2021-07-04).

Ingersoll, Daniel T. 2016. *Small Modular Reactors*. Cambridge: Woodhead Publishing.

Kan, Xiaoming, Hedenus, Fredrik, Reichenberg, Lina. 2020. The cost of a future low-carbon electricity system without nuclear power - the case of Sweden. *Energy*. Vol. 195. Artikel 117015. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117015>

Kantar Sifo. 2021. *Väljarbarometern 2021-06-18*.

<https://www.kantarsifo.se/rapporter-undersokningar/valjarbarometern> (Hämtad 2021-08-11).

Khatesha, Pushker och Hansen, James. 2013. Coal and Gas are Far More Harmful than Nuclear Power. *NASA: Goddard Space Flight Centre*.

<https://climate.nasa.gov/news/903/coal-and-gas-are-far-more-harmful-than-nuclear-power/>

(Hämtad 2021-04-12).

Kulin, Daniel; Eriksson, Kristina och Stenkvist, Maria. 2016. *Produktionskostnader för vindkraft i Sverige*. Energimyndigheten.

https://www.energimyndigheten.se/contentassets/9f658fbcc1d24014bbe6fbeb70f80cba/er-2016_17-produktionskostnader-for-vindkraft-i-sverige.pdf (Hämtad 2021-08-10).

Kungliga Tekniska Högskolan, KTH. 2021. *Uniper Sverige, Blykalla och KTH bygger testreaktor på OKG*.

<https://www.kth.se/om/miljo-hallbar-utveckling/mhu-nyheter/i-media/uniper-sverige-blykalla-och-kth-bygger-testreaktor-pa-okg-nordiskaprojekt-se-1.1066899?page=4>

(Hämtad 2021-06-01).

Locatelli, Giorgio; Bingham, Chris och Manchini, Mauro. 2014. Small modular reactors: A comprehensive overview of their economics and strategic aspects. *Progress in Nuclear Energy*. Vol. 73. 75–85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.01.010>

Martin, William. 2020. *Nuclear Power*. Encyclopedia Britannica.

<https://www.britannica.com/technology/nuclear-power/Economics#ref1177722>

(Hämtad 2021-05-29).

Mignacca, Benito och Giorgio, Locatelli. 2020. Economics and finance of Small Modular Reactors: A systematic review and research agenda. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 118. Artikel 109519. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109519>

Miljöbalk 1998:808. 1 kap. 6a §.

Motion 2005/06:N212. *"Tankeförbudet" i kärntekniklagen*.

Nordpool, 2021. Day-ahead prices.

<https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/SE/Hourly1/?dd=SE4&view=table> (Hämtad 2021-08-15).

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

https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14924 (Hämtad 2021-05-03).

Nuclear Energy Agency, NEA. 2021. *Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities*.

https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_57979/small-modular-reactors-challenges-and-opportunities (Hämtad 2021-04-15).

NuScale Power. 2021a. *Fabrication and Assembly*.

<https://www.nuscalepower.com/technology/fabrication-and-assembly> (Hämtad 2021-04-19).

NuScale Power. 2021b. *Design Innovations*.

<https://www.nuscalepower.com/technology/design-innovations> (Hämtad 2021-04-24).

NuScale Power. 2021c. *Technology Overview*.

<https://www.nuscalepower.com/technology/technology-overview> (Hämtad 2021-04-19).

Proposition 2005/06:76. *Kärnsäkerhet och strålskydd*.

Rosner, Robert och Goldberg, Stephen. 2011. *Small Modular Reactors - Key to Future Nuclear Power Generation in the U.S.* Chicago: Energy Policy Institute at Chicago, The University of Chicago.

<https://www.energy.gov/sites/default/files/2015/12/f27/ECON-SMRKeytoNuclearPowerDec2011.pdf> (Hämtad 2021-04-21)

SFS 2008:436, 5 §. *Förordning om vissa avgifter till Strålsäkerhetsmyndigheten.*

Statista. 2018. *Mortality rate worldwide in 2012, by energy source.*

<https://www.statista.com/statistics/494425/death-rate-worldwide-by-energy-source/> (Hämtad 2021-04-07).

Statistiska centralbyrån. 2020a. *Tillförsel och användning av el 2001-2019 (GWh).*

<https://scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/tillforsel-och-anvandning-av-energi/arlrig-energistatistik-el-gas-och-fjarrvarme/pong/tabell-och-diagram/tillforsel-och-anvandning-av-el-gwh/> (Hämtad 2021-05-02).

Statistiska centralbyrån. 2020b. *Bruttotillförsel av el-energi, GWh efter produktionslag och år.*

<https://www.statistikdatabasen.scb.se/sq/111395> (Hämtad 2021-05-02).

SVT. 2021, 2 maj. *Agenda: Partiledardebatten - del 1.*

<https://www.svtplay.se/video/30797654/agenda/agenda-partiledardebatt-2-maj-20-00?id=ewAW3mg&position=2180> (Hämtad 2021-06-20).

Todreas, Neil. 2014. Small modular reactors (SMRs) for producing nuclear energy: an introduction. I Carelli, Mario D. och Ingersoll, Daniel T. (red.) *Handbook of Small Modular Nuclear Reactors*. Cambridge: Woodhead Publishing. 3–26.

TVU. Utan år. *OL3.*

<https://www.tvo.fi/en/index/production/plantunits/ol3.html> (Hämtad 2021-04-28).

Vattenfall. Utan år a. *Forsmarks produktion och driftläge.*

<https://group.vattenfall.com/se/var-verksamhet/forsmark/produktion> (Hämtad 2021-05-02).

Vattenfall. Utan år b. *Ringhals produktion och driftläge*.

<https://group.vattenfall.com/se/var-verksamhet/ringhals/produktion> (Hämtad 2021-05-02).

Vattenfall. Utan år c. *Revision på Ringhals*.

<https://group.vattenfall.com/se/var-verksamhet/ringhals/produktion/revision> (Hämtad 2021-05-23).

Vattenfall. Utan år d. *Revision på Forsmark*.

<https://group.vattenfall.com/se/var-verksamhet/forsmark/produktion/revision> (Hämtad 2021-05-23).

Vattenfall. Utan år e. *Avveckling av Ringhals 1 och 2*. <https://group.vattenfall.com/se/var-verksamhet/ringhals/produktion/avveckling-ringhals-1-och-2> (Hämtad 2021-08-01)

Vegel, Benjamin och Quinn, Jason C. 2017. Economic evaluation of small modular reactors and the complications of regulatory fee structures. *Energy Policy*. Vol. 104. 395–403. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.043>

Östhammars kommun. 2021. *Slutförvar Forsmark – Tidslinjen*.

<https://www.slutforvarforsmark.se/tidslinjen/> (Hämtad 2021-08-02).