

Regelverk för små reaktorer

Kärnkraften genomgår en förändring. Reaktorerna runt om i världen är i stort sett alla snarlika, men den senaste tiden har en lång rad små reaktorer utvecklats som ofta inte alls liknar de reaktorer vi är vana vid. De svenska regelverken är utvecklade för de reaktorer vi har i dag och behöver anpassas för att vi ska kunna dra nytta av den nya tekniken, där reaktorer kan se väldigt olika ut. Den här skriften beskriver hur regelverket för reaktorsäkerhet är uppbyggt och diskuterar hur det skulle behöva anpassas för att också kunna hantera små reaktorer.



Figur 1. En tänkbar anläggning med en eller flera små reaktorer som förser samhället med värme och el till bostäder, och vätgas till transporter och industriella processer.

Historik – stora och små reaktorer

Lättvattenreaktorer dominerar

Majoriteten av de elproducerande reaktorerna runt om i världen är stora lättvattenreaktorer. De använder vanligt (lätt) vatten både som kylmedel och som moderator. Moderatorns uppgift är att bromsa ned neutronerna så

att de kan initiera nya kärnklyvningar och kedjereaktionen kan upprätthållas. Kylmedlets uppgift är att transportera bort värmen från reaktorhärden, dels för att utnyttja den frigjorda energin till elproduktion eller fjärrvärme, dels för att se till att reaktorn inte överhettas.

Det finns andra möjligheter både vad gäller kylmedel och moderator. Till exempel kan tungt vatten användas både

som moderator och kylmedel. Det finns också reaktorer som använder grafit som moderator. Kylmedlet kan då vara antingen vatten eller gas. En annan grupp reaktorer kallas snabbreaktorer. De använder ingen moderator alls eftersom neutronerna inte behöver bromsas ned. Snabbreaktorerna använder ofta flytande metall som kylmedel. Natrium är vanligast förekommande, men bly, bly-vismut, och kvicksilver har också använts. Det går också att kyla snabbreaktorer med helium.

Det har till och med funnits reaktorer där själva bränslet har pumpats runt mellan reaktorn och en värmeväxlare i form av ett flytande salt. I en sådan, så kallad saltsmälte-reaktor fungerar själva bränslet också som kylmedel.

Men, trots att det finns hundratals möjligheter är lättvattenreaktorerna helt dominerande. Av de elproducerande reaktorerna är i dag (2021) drygt åttio procent lättvattenreaktorer [1].

Skälet till att lättvattenreaktorn blev dominerande är att den amerikanska marinen valde den till sina ubåtar. Lättvattenreaktorerna var förhållandevis robusta och enkla att bygga, och i jämförelse med en del andra reaktortyper innebar det enklare val av material. Det byggdes upp ett kunnande kring tekniken som några år senare flyttade upp på land för att bygga elproducerande reaktorer. När tekniken skalades upp byggde man vidare på erfarenheterna från ubåtarna och de första reaktorerna. Man behöll till exempel samma ångtryck till turbinen. Genom att hela tiden använda sig av beprövad teknik minimerades risken för tekniska problem. Flera andra länder byggde sedan egna lättvattenreaktorer på licens från USA. Några länder, däribland Sverige, utvecklade egna reaktorer utan att använda sig av amerikansk teknik. Logiken var dock densamma; genom att utgå från det som är känt undviker man problem.

Lättvattenreaktorerna delas in i två grupper; tryckvattenreaktorer och kokvattenreaktorer [2]. Den avgörande skillnaden mellan dem är att vattnet kokar i härden på en kokvattenreaktor, medan det hela tiden hålls i flytande form i en tryckvattenreaktor. Där produceras istället ånga till turbinen i stora värmeväxlare, så kallade ånggeneratorer. Tryckvattenreaktorn är den vanligare av de två typerna. I Sverige finns både kokvattenreaktorer och tryckvattenreaktorer.

Större och större reaktorer

De flesta av de reaktorer som är i drift byggdes under 1980-talet. Tekniken att bygga reaktorerna hade då förfinats och runt om i västvärlden byggdes kärnkraftverk effektivt av vältrimmade organisationer som under lång

tid hade sysslat med att bygga reaktorer. Personalen gick från projekt till projekt och maskineriet blev allt mer väloljat. I Sverige byggdes tolv lättvattenreaktorer som togs i drift mellan 1972 och 1985. Nio av dem levererades av Asea Atom som dessutom levererade ytterligare två reaktorer till Finland.

Under 1970- och 1980-talen blev reaktorerna allt större. Det finns skalfördelar med att bygga stora reaktorer eftersom många funktioner är desamma oavsett storlek, och en stor reaktor ger mer elektricitet än en liten. Figur 2 visar hur trenden med större reaktortyper varit ungefär densamma i flera länder.

Under 1990-talet designades ännu större reaktorer. Reaktorstorleken hade ökat stegvis under 1970- och 1980-talen i och med att leverantörer av såväl turbiner som olika väsentliga delar till reaktorn utvecklade sina konstruktioner stegvis. Detta ledde fram till stora reaktorer som den franska reaktorn EPR (European Pressurized Reactor) med en elektrisk effekt på över 1600 megawatt (MW). En enda EPR producerar över året motsvarande tio procent av Sveriges nuvarande behov av el.

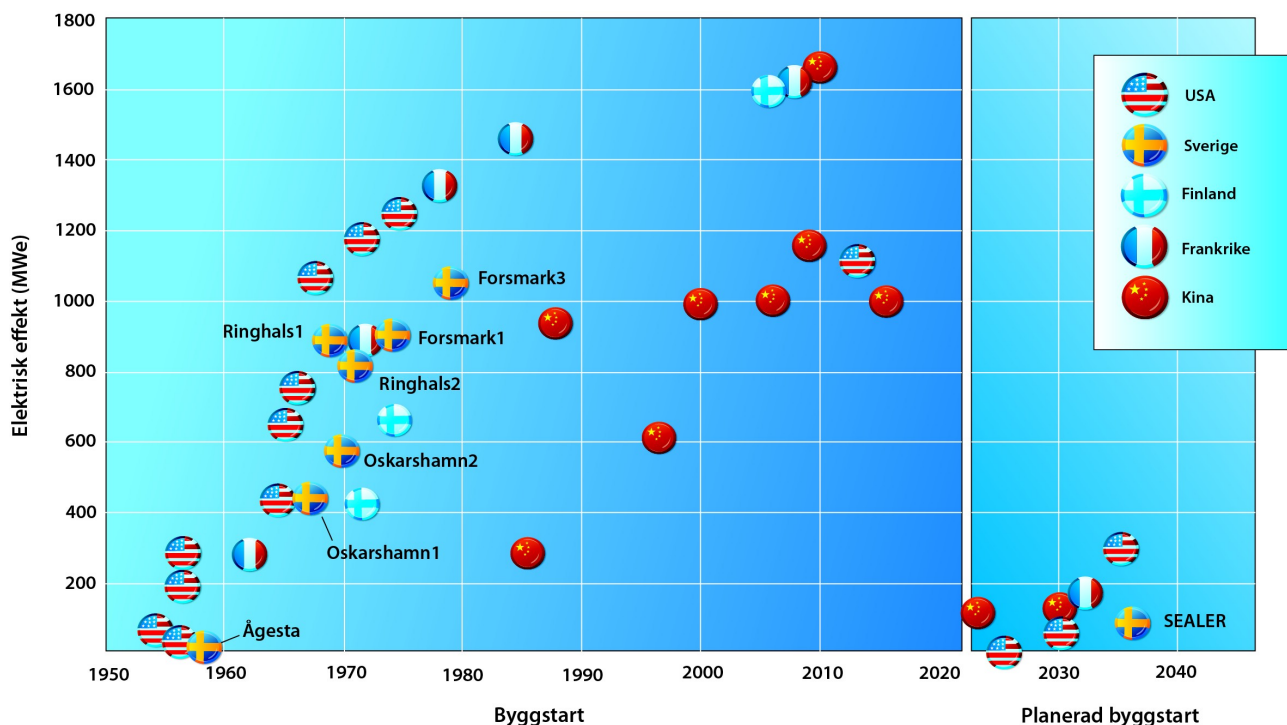
Under 2000- och 2010-talen byggdes de flesta reaktorerna i Asien. Även där gick utvecklingen mot större reaktorer, från 1000 MW och uppåt.

Intresset för stora reaktorer falnar

Under 2000-talet började det i flera av de stora kärnkraftsländerna – USA, Frankrike och Storbritannien – bli dags att bygga nya reaktorer. Ett antal europeiska länder behövde också förnya sin kärnkraft. En febril aktivitet drog igång och nybyggnadsprojekt startade i ett antal av de gamla kärnkraftsländerna.

I princip alla påbörjade projekt tog längre tid än planerat. Det visade sig vara komplicerat att åter bygga upp de projektorganisationer och logistikkedjor som behövs [3]. Överallt saknades erfarenheten av att bygga reaktorer. Samtidigt innebar de enorma projekten att de ekonomiska riskerna blev stora, där höga räntekostnader under byggtiden bidrog till en väsentlig del av den totala kostnaden.

I Kina, Japan och Sydkorea, där man kontinuerligt byggt reaktorer, gick projekten mycket bättre. Där byggs reaktorerna som regel klara enligt tidplan och inom budget.



Figur 2. Reaktorers storlek har tenderat att öka med tiden, ambitionen har varit förbättrad kostnadseffektivitet. Bilden visar exempel på detta i några olika länder, varje punkt motsvarar den första reaktorn av olika konstruktionstyper. De närmaste decennierna planeras för små reaktorer i flera länder.

Små reaktorer

När de stora reaktorerna fick problem i väst började det istället dyka upp en lång rad små reaktorer. Universitet och reaktorleverantörer, men också entreprenörer, satte igång att utveckla reaktorer, som genom att vara betydligt mindre, skulle kunna undvika många av de problem de stora reaktorerna drabbats av.

Små reaktorer skulle kunna produceras i fabriker eller på skeppsvarv under kontrollerade former. En stor reaktor byggs i stor utsträckning för hand på platsen där den ska stå, medan små reaktorer skulle kunna massproduceras i fabriker med standardiserade tillverkningsmetoder. Tanken är att det ska göra dem så mycket billigare att bygga att det kompenseras för att de inte kan dra nytta av de stora reaktorernas skalfördelar.

Tiotal olika koncept har utvecklats i bland annat USA, Kanada, Storbritannien och Ryssland [4], men också här hemma. Det svenska företaget Blykalla reaktorer har en långt utvecklad snabbreaktor som kyls med bly [5]. I den högra delen av figur 2 visas några exempel på planerade projekt i några länder.

Småreaktorerna är en väldigt heterogen skara. I princip alla tekniker finns representerade från lättvattenreaktorer till snabbreaktorer och saltsmältereaktorer. De varierar kraftigt i storlek. En del är tänkta att generera några få megawatt (MW) för att kunna försörja ett mindre samhälle,

eller en isolerad industri, med el och värme. Andra ska generera 300 megawatt el och rakt av kunna ersätta ett typiskt kolkraftverk. Det har blivit etablerat att dra gränsen för vad som anses vara en liten reaktor just där, vid 300 MW elektrisk effekt.

Små reaktorer kan användas mycket mer flexibelt än stora. När de stora reaktorerna egentligen bara lämpar sig för att producera stora mängder el till starka nationella elnät, kan de små reaktorerna producera el mer lokalt, vilket kan vara viktigt i svaga elnät. De kan också användas till annat än el. Värme till fjärrvärmenät eller industrier är en stor möjlighet, men reaktorer kan också användas till vätgasproduktion eller för avsaltning av havsvatten. I figur 1 visas några exempel på sådana användningsområden.

Små reaktorer används också sedan länge på många håll i världen för forskningsändamål, utbildning, produktion av medicinska isotoper och för att bestråla material. Sådana reaktorer kallas forskningsreaktorer. Eftersom de inte används för produktion av el eller värme brukar de inte inkluderas i diskussionen om små reaktorer.

Ibland kallas småreaktorerna för små modulära reaktorer, SMR. Det beror på att ett antal av de modeller som har utvecklats är tänkta att byggas flera tillsammans en efter en. Ett kärnkraftverk kan på så sätt byggas stort även om varje reaktormodul är liten.

Regelverken kring kärnkraften

Kärnkraften styrs av kärntekniklagen [6], miljöbalken [7] och kärnteknikförordningen [8], men också av ett antal myndighetsföreskrifter där de från Strålsäkerhetsmyndigheten [9], som mer i detalj anger ramarna för hur reaktorer ska vara konstruerade och hur de ska drivas, är de centrala. Lagarna, förordningen och föreskrifterna har stor betydelse för vilka typer av reaktorer det är tekniskt och ekonomiskt möjligt att bygga i Sverige.

När de första reaktorerna i Sverige – forskningsreaktorerna R1 på Drottning Kristinas väg i Stockholm, R2 i Studsvik och kraftvärmeverket i Ågesta – togs i drift fanns inte alls den typ av regelverk som vi har i dag. När de stora reaktorerna i Oskarshamn och Ringhals började byggas utgick man från amerikanska krav och från de principer man använt sig av vid bygget av Ågesta och Marviken. Det formella regelverket för den svenska kärnkraften som vi känner det i dag växte fram först när vi redan hade reaktorer i drift i Sverige. Regelverket kom därför att färgas av de teknikval som gjorts.

Precis som för vilken annan verksamhet som helst i Sverige är det den som söker tillstånd för att bygga eller ta i drift en ny reaktor som ska kunna visa att reaktorn är byggd, och kommer att fungera, på ett sådant sätt att den inte skadar människor eller miljön. Denna övergripande princip gällde när de första reaktorerna togs i drift och den gäller fortfarande. Numera finns regelverken och de ger styrning genom att ställa krav på en rad principer för hur reaktorerna ska vara utformade och hur de ska drivas.

Regelverken beskriver hur risker ska hanteras. Då de utgår ifrån lättvattenreaktorer gör det att den som vill bygga en annan typ av reaktor, där riskerna ser helt annorlunda ut, kommer att mötas av krav som kan orsaka svårigheter utan att för den skull bidra med säkerhetsnytta.

Det svenska regelverket för kärnkraften ger i grunden den som söker ett tillstånd stor frihet att välja hur det visas att reaktorn är säker. Det går bra att hänvisa till andra länders regelverk eller tekniska normer. Huvudsaken är att det finns en bevisföring som med en vedertagen och kvalitetssäkrad metodik visar att reaktorn kommer att fungera på ett säkert sätt i de situationer som kan uppstå. Den här bevisföringen kallas för reaktorns säkerhetsredovisning.

I säkerhetsredovisningarna för de svenska reaktorerna hittar vi till exempel temperaturgränser för bränslet som från början kommer från det amerikanska regelverket.

Där finns också hänvisningar till både amerikanska och tyska industrinormer, till exempel för tryckkärl.

Det här upplägget i bevisföringen gör att det i princip är möjligt att ansöka om tillstånd att uppföra vilken sorts reaktor som helst i Sverige. Samtidigt finns det detaljer i regelverket som tydligt har utformats med stora vattenkylda reaktorer i åtanke.

Synsättet att det är tillståndshavarens ansvar att visa att verksamheten är säker har den stora fördelen att lagar och föreskrifter inte behöver vara heltäckande. Det ger också en flexibilitet som tillåter att man tar till sig ny kunskap. Alternativet är att föreskrifterna är mer detaljerade avseende förutsättningar på olika områden inom reaktorns konstruktion och drift. Det främsta exemplet på den här typen av föreskrift inom det kärntekniska området är den amerikanska regleringen av kärnkraften.

Tydliga föreskrifter har både för- och nackdelar. Å ena sidan minskar tydliga föreskrifter osäkerheter runt vilka förutsättningar som myndigheten accepterar, å andra sidan så kan de fungera som ett hinder för utveckling. Framtagande av detaljerade föreskrifter ställer dock krav på att myndigheten har erforderlig bemanning samt erforderligt stöd av teknisk expertis på olika områden.

Att föreskrifterna i Sverige har växt fram efter att reaktorerna var byggda gör att de i viss mån utgår ifrån de reaktorer de reglerar. Men de är också i stor utsträckning generella och omfattar alla kärntekniska anläggningar. En del av föreskrifterna gäller för allt från kraftproducerande reaktorer och forskningsanläggningar till den planerade inkapslingsanläggningen för använt kärnbränsle. Det finns också mer detaljerad styrning i andra föreskrifter där det är tydligt att det är stora lättvattenreaktorer som avses. Särskilt gäller det föreskriften som reglerar konstruktion och utförande av kärnreaktorer [10].

Fysiskt skydd

Utöver det rent fysikaliskt motiverade reaktorsäkerhetsarbetet innehåller kärnkraftens regelverk också bestämmelser för hur kärntekniska anläggningar och radioaktivt material ska skyddas mot personer som kan tänkas ha för avsikt att stjåla materialet eller tekniken, eller som vill försöka skada den kärntekniska anläggningen [9]. Dessa bestämmelser är relativt teknikneutrala och implementering av dem påverkas endast i mindre grad av vilken slags reaktor som byggs.

Reaktorsäkerhet

Tre grundläggande krav

Kärnkraften skiljer säkerhetsmässigt ut sig från andra industrier genom att tre säkerhetskrav alltid måste uppfyllas:

- **Kärnreaktionen måste alltid hållas under kontroll** – En reaktor som är i drift måste alltid kunna stoppas. Kärnreaktionen får heller aldrig kunna starta spontant vare sig i en avstängd reaktor eller när kärnbränsle lagras eller hanteras.
- **Resteffekten måste alltid kunna kylas bort** – Radioaktiviteten i använt kärnbränsle utvecklar värme även när reaktorn är avstängd, så kallad resteffekt. Den måste alltid kunna ledas bort från härden till en värmesänka, vanligen havet eller atmosfären.
- **Radioaktivt material måste alltid hållas inneslutet och under kontroll** – Oavsett vad som händer måste det radioaktiva materialet i härden hållas inneslutet. På samma sätt måste använt bränsle kontrolleras och dokumenteras på ett sådant sätt att det kan hållas avskilt från människor och från naturen.

Säkerhetsarbetet vid en kärnteknisk anläggning handlar hela tiden om att säkerställa att de här tre grundläggande kraven är uppfyllda, med det övergripande målet att skydda människor och miljön mot skadliga effekter av joniserande strålning. Regelverken som styr kärnkraften reglerar framförallt hur långtgående åtgärder som ska vidtas för att säkerställa att de tre kraven uppfylls, och på så sätt garantera att varken människor eller andra arter utsätts för skadliga stråldoser.

Då det i stor utsträckning är okänt vilka skadeverkningar låga stråldoser ger, är föreskrifterna strängt hållna. Regelverken ska säkerställa att de stråldoser som någon utanför den kärntekniska anläggningen kan komma att utsättas för är så låga att de effekter de kan förväntas ge är långt mindre än effekterna av den strålning vi alla utsätts för naturligt.

I många andra verksamheter accepterar samhället skadeverkningar, särskilt vid eventuella haverier. Kärnkraftens krav är däremot utformade för att undvika skador på människa och miljö även i olycksscenarioer. Det här blir tydligt vid en jämförelse till exempel med biltrafik eller flyg. Båda är potentiellt farliga verksamheter där samhället accepterar att olyckor kan leda till att det uppstår allvarliga skador.

Reaktorsäkerhet i små reaktorer

Reaktorsäkerhet bygger på samma principer oavsett om reaktorn är stor eller liten. Den som driver reaktorn måste

kunna visa att de tre grundläggande kraven alltid är uppfyllda och att säkerheten garanteras i flera led på ett effektivt och tillräckligt sätt.

Det är på flera sätt enklare att visa att en reaktor är säker om den är mindre. I små reaktorer tar sig mer värme och neutroner ut ur härden till omgivande strålskärm än i stora reaktorer. Det ger generellt större säkerhetsmarginaler, till exempel vid en oväntad förändring av effekten.

Lägre effekt betyder också mindre resteffekt. Det innebär att det är mindre värme som behöver kylas bort när reaktorn stoppas. Att mer värme läcker till omgivningen gör det enklare att konstruera reaktorer vars resteffekt kan kylas bort med passiva metoder istället för att vara beroende av pumpar eller andra aktiva komponenter.

Samma grundläggande krav som för stora reaktorer

De tre grundläggande kraven (kärnreaktionen ska kunna kontrolleras, resteffekten ska kunna kylas bort, radioaktivt material ska hållas inneslutet) gäller alltid, men sätten att garantera att kraven alltid kan uppfyllas kan anpassas när reaktorn är mindre.

En del reaktorer som diskuteras, till exempel de med flytande metall som kylmedel, eller saltsmältereaktorer, har helt andra egenskaper än de stora vattenkylda reaktorer vi har i Sverige i dag. De större möjligheterna att klara säkerhetsfunktionerna med helt passiva system gör att reaktorerna på många sätt kan byggas enklare än stora reaktorer men med bibehållen säkerhet. Flytande metall liksom flytande salter ger helt andra förutsättningar än vattenkyllning. De har förmåga att binda många av de ämnen som finns i kärnbränslet och förhindra att de sprids, vilket gör att en del säkerhetsfunktioner kan utformas enklare.

Samtidigt finns det en rad förlopp som kan inträffa för de här reaktorerna som inte är aktuella för vattenkylda reaktorer. Den som skriver säkerhetsanalysen behöver därför börja från början, där alla de händelser som kan hota reaktivitetskontrollen, resteffektkyllningen eller att radioaktiva ämnen kan hållas isolerade, måste analyseras och utvärderas.

Flera av egenskaperna hos små reaktorer och hos de icke-vattenkylda reaktorerna kan mycket väl tänkas bidra till reaktorsäkerheten på ett sådant sätt att det blir överflödigt att förse reaktorn med vissa av de säkerhetssystem som används i dagens reaktorer. Men

det är fortfarande nödvändigt att reaktorn kan hantera de situationer som kan uppstå på ett robust sätt.

Konsekvenslindrande system

De svenska reaktorerna är utrustade med konsekvenslindrande system i djupförsvarets nivå 4, se faktaruta om djupförsvaret och barriärer. Utgångspunkten för dem är att man av någon anledning har misslyckats med att kyla bort resteffekten. Om det skulle misslyckas innebär det att reaktorns bränsle smälter. Flera av de barriärer som ska förhindra att radioaktivt material sprids bryts då. Syftet med de konsekvenslindrande systemen är att skydda de återstående barriärerna och förhindra utsläpp av radioaktiva ämnen till omgivningen.

Det ska påpekas att de konsekvenslindrande systemen inte behövs så länge reaktorn och dess säkerhetssystem

beter sig så som beskrivs av analyserna i säkerhetsredovisningen. De här systemen är istället en sista försvarslinje av oberoende system för att skydda barriärerna och förhindra utsläpp även i ett läge där det inte längre har gått att kyla härden.

I små reaktorer är härdarna typiskt mycket mindre än i de reaktorer vi har i drift i Sverige i dag. Därför kan både de konsekvenslindrande systemen och många av de andra systemen anpassas efter att reaktorn är mindre. Systemen kan vara enklare på en liten reaktor än på en stor. Valet av kylmedel är också väsentligt för hur radioaktiva ämnen skulle kunna spridas vid en olycka. Olika typer av reaktorer skulle bete sig mycket olika i en olycksituation och det är därmed inte givet att de krav som gäller för dagens lättvattenreaktorer är ändamålsenliga för andra reaktortyper.

Djupförsvaret och barriärer

Djupförsvaret är en viktig princip i reaktorsäkerhetsfilosofi. Djupförsvaret syftar till att ta kontroll över en oönskad situation när den uppstår och säkerställa att den inte eskalerar. Djupförsvaret utgörs både av reaktorns konstruktion, inklusive den tekniska utrustningen och en rad fysiska *barriärer* som förhindrar spridning av radioaktiva ämnen, och av de procedurer och rutiner som styr arbetet.

Djupförsvaret kan indelas i fem nivåer. Om det sker ett missöde som gör att en nivå brister ska nästa nivå fånga upp förloppet eller dämpa dess konsekvenser. För att det här ska fungera behöver nivåerna i djupförsvaret vara oberoende av varandra. Utrustning som används i djupförsvarets första nivå ska inte antas finnas tillgänglig för att utföra uppgifter i senare nivåer. Oberoendet uppnås genom att systemen separeras fysiskt och funktionellt så att de – så långt det är möjligt och rimligt – inte påverkar varandra.

Nivå 1 innehåller den utrustning och de säkerhetssystem som behövs för att reaktorn ska kunna köras i normal drift. De här systemen har uppgiften att hantera små avvikelser så att reaktorn inte lämnar normaldriftområdet.

Nivå 2 har de system som behövs för att upptäcka och ta kontroll över förväntade händelser och fel som på något sätt stör driften.

På både nivå ett och två finns det en lång rad förebyggande åtgärder som syftar till att minska risken för fel och olyckor. Det handlar om hur reaktorn är konstruerad, om återkommande granskning, inspektion och provning, om kvalitetskontroll av både utrustning och dokumentation, samt om utbildning och övningar för personal.

Nivå 3-systemen är till för att hantera en olycka. Här finns säkerhetssystem och instruktioner som ska användas för att ta kontroll över situationen när en olycka har inträffat. Uppgiften är att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och förhindra att olyckan förvärras. En mycket viktig uppgift för systemen på nivå tre är att skydda barriärerna så att de kan hålla det radioaktiva materialet inneslutet.

Nivå 4 i djupförsvaret innehåller de system som träder in om bränslet skadas. Här är uppgiften att hantera en smält härd så att olyckan begränsas till reaktorbyggnaden och påverkan på omgivningen förhindras.

Nivå 5 av djupförsvaret är det batteri av förberedda åtgärder som kan sättas in för att minska konsekvenserna av ett utsläpp av radioaktiva ämnen. Här ingår också samordning med olika samhällsaktörer på lokal, nationell och internationell nivå.

För att djupförsvaret ska fungera krävs det också en ändamålsenlig organisation med ett system för att styra och leda verksamheten som säkerställer; att säkerheten prioriteras, att säkerheten övervakas och att fel rättas till, att det finns goda marginaler, ett konservativt synsätt och att kvaliteten i allt arbete är hög.

Reglermässiga utmaningar

Antalet reaktorer begränsas av miljöbalken

I Sverige får nya reaktorer bara uppföras som ersättning för de befintliga reaktorerna vid Ringhals, Oskarshamn och Forsmark. Det här regleras i paragraf 6a i miljöbalkens sjuttonde kapitel [11]. Antalet reaktorer som samtidigt är i kommersiell drift begränsas genom den här bestämmelsen till tio stycken. De tio reaktorerna får dessutom bara uppföras där det i dag finns reaktorer i drift.

Som bestämmelsen är utformad är det tydligt att lagstiftaren har tänkt sig att de reaktorer som kan bli aktuella för att ersätta de befintliga skulle se ut ungefär som de som är i drift i dag. Den proposition som låg till grund för ändringen i miljöbalken lades fram år 2010 [12]. Vid den tiden fanns stora planer för ny kärnkraft runt om i världen och det var framför allt lättvattenreaktorer man såg framför sig.

Sedan dess har mycket förändrats och miljöbalkens formulering utgör nu en begränsning. I dag är det fullt tänkbart att en stor reaktor skulle kunna ersättas av flera små. Det går också att tänka sig att någon vill bygga en reaktor för att producera fjärrvärme eller för att leverera processvärme eller vätgas. I de senare fallen är det inte säkert att de det vore optimalt att bygga reaktorerna vid något av de nuvarande kärnkraftverken.

Tillstånd för uppförande och drift

För att få uppföra en kärnteknisk anläggning krävs tillstånd från Strålsäkerhetsmyndigheten. Innan det kan utfärdas krävs ett regeringsbeslut om tillåtlighet som i sin tur bygger på ett utlåtande från Mark- och miljödomstolen. Dessutom krävs att kommunen meddelar bygglov.

Den här tillståndsprocessen lämpar sig bäst för stora anläggningar, som en stor reaktor eller slutförvaret för använt kärnbränsle. I ett scenario där små reaktorer för el- eller värmeproduktion är intressanta att uppföra är det inte säkert att tillståndsprocessen kommer att fungera lika bra. Själva tillståndsprocessen kan helt enkelt visa sig bli en orimligt stor del av projektet samtidigt som det som ska byggas är något som är mycket mindre, i både omfattning och komplexitet, än vad processen var skapad för.

En av de bärande idéerna i flera av de koncept för små reaktorer som tas fram är att det ska gå att bygga ut anläggningen med en reaktor i taget. På så sätt kan projektrisken och därmed de ekonomiska riskerna begränsas. Ett sådant upplägg kräver dock att det är

mycket smidigt att fatta beslut om att bygga nästa identiska reaktor intill den första. I den situationen skulle det behövas en kraftfullt förenklad tillståndsprocess.

På samma sätt kan det tänkas att flera identiska reaktorer ska uppföras men på olika platser. I en del länder finns förfaranden med typgodkännanden av reaktormodeller där en stor del av tillståndsprocessen görs bara en gång, vid själva typgodkännandet. När det väl är utfärdat kan fler likadana reaktorer byggas genom en enklare process. Så gör vi dock inte i Sverige och det skulle därmed riskera att krävas omfattande tillståndsprocesser även för identiska reaktorer på samma plats.

Det kan också komma att bli så att en anläggning byggs ut i steg där påföljande reaktorer byggs mycket nära en första som redan har tagits i drift. I en del fall kan det också vara tänkt att reaktorerna ska dela viktiga system, till exempel turbiner och kontrollrum. När flera reaktorer delar kontrollrum kan det krävas att reaktorerna klarar sig på egen hand, utan ingripanden från operatörerna, betydligt längre tid än vad som behövs i dag.

Tillståndsgivningen som i dag tydligt hanterar reaktorer som distinkta enheter behöver också anpassas för reaktorer som byggs flera tillsammans. Två reaktorer kräver i dag två tillstånd. Men när flera små reaktorer byggs ihop och delar viktiga system är det inte längre självklart att se dem som olika anläggningar.

Nya affärsmodeller ger nya behov

Små reaktorer innebär betydligt mindre investeringar än stora reaktorer. Faktum är att det är ett av de viktigaste skälen till att de har utvecklats. En mindre investering öppnar för helt nya affärsmodeller och för att nya aktörer skulle kunna intressera sig för att bygga reaktorer. Det är till exempel fullt tänkbart att ett stålverk kan komma att vilja bygga en reaktor för att producera vätgas, att ett raffinaderi behöver en reaktor för att producera ånga och vätgas, eller att en medelstor stad behöver en fjärrvärme-reaktor. Det står i stark kontrast mot dagens situation i Sverige där reaktorerna drivs av tre specialiserade kärnkraftsföretag. Företagen ägs i sin tur, huvudsakligen, av stora kraftbolag, som ibland är statligt ägda. Industrier och kommuner skulle utgöra en helt ny typ av aktörer som föreskrifterna inte är anpassade för att hantera.

Tanken bakom de små reaktorerna är att de ska transporteras i ett stycke till byggplatsen eller byggas i moduler som skeppas till byggplatsen och monteras ihop. Förhoppningen är att det genom att använda moderna tillverkningsmetoder på fabriksnivå ska gå att bygga reaktorerna betydligt billigare än dagens stora reaktorer,

som till stor del byggs för hand på plats [13]. En viktig del i den här strategin är också att korta byggtiderna. Det gör att tillståndsförfarandet kommer att bli den del av projektet som tar lång tid i anspråk. Här behövs ett regelverk och en process som medger att olika tillstånd kan meddelas snabbare än i dag.

Slutligen är ansökningsavgiften för den som vänder sig till Strålsäkerhetsmyndigheten och ber om att få uppföra en ny reaktor satt till 100 miljoner kronor, med tillkommande avgifter i samma storleksordning varje år till reaktorn får tillstånd för normaldrift [14]. För flera av de små reaktorer som diskuteras skulle ansökningsavgiften bli en relativt stor del av projektbudgeten. Det är därför angeläget att hitta enklare, snabbare och billigare sätt för Strålsäkerhetsmyndigheten att hantera ansökningar om nya reaktorer.

Harmonisering och massproduktion

När fabriker har byggts upp och tillverkningen av reaktorer enligt det löpande bandets princip väl har rullat igång är det rationellt att tillverka väldigt många likadana reaktorer. En sådan tillverkning skulle kunna komma att likna flygindustrin. En förutsättning för att det här ska fungera är att de anpassningar som görs för olika kunder blir ganska små. Flygplanen av samma modell målas och inreds olika, men i grund och botten är de väldigt lika oavsett vart i världen de skickas. För att det här ska bli möjligt får inte krav från tillsynsmyndigheter eller villkor i drifttillstånden innebära att det krävs några ändringar av betydelse i reaktorns konstruktion när den byggs i ett nytt land. Någon typ av internationella typgodkännanden – precis som för flyget – skulle behövas för att serieproduktion av små reaktorer ska bli rationell och ekonomiskt konkurrenskraftig.

Den kanadensiska tillsynsmyndigheten har insett det här och har uttryckt att man är beredd att rakt av acceptera typgodkännanden för reaktorer utfärdade av tillsynsmyndigheter i länder som Kanada anser har ett jämförbart strålsäkerhetsarbete.

En tänkbar hantering är att tillsynsmyndigheterna i länder där det finns intresse för en viss reaktortyp går samman och tillsammans utfärdar ett typgodkännande. Den här typen av arbete skulle kunna organiseras till exempel inom ramen för den Internationella atomenergiorganen, IAEA [15].

Sammanfattning

Bland en lång rad möjliga tekniker blev lättvattenreaktorerna de dominerande när kärnkraften började byggas ut. Den från början amerikanska lättvattenreaktor-

tekniken spreds till nästan alla kärnkraftsländer. En del länder byggde amerikanska reaktorer, andra byggde egna men fyllde dem med amerikansk teknik, och några länder utvecklade helt egna lättvattenreaktorer.

Kärnkraftens regelverk utvecklades parallellt med utvecklingen av reaktorerna och det blev därmed naturligt att regelverken i olika länder, inte minst i Sverige, kom att utgå från lättvattenreakortekniken.

Utbyggnaden av kärnkraften i väst under 1970- och 80-talen och i Asien under de senaste årtiondena skedde huvudsakligen i stora program där staterna ofta spelade en viktig roll. Många reaktorer byggdes också i långa serier, vilket gjorde att processen blev effektiv och att kostnaderna sjönk. Att utbyggnaden var storskalig och planerad gjorde det också rationellt att söka skalfördelar i att bygga reaktorerna så stora som möjligt.

De stora lättvattenreaktorerna används i dag nästan uteslutande för elproduktion.

Strax efter millennieskiftet startade utvecklingen av en rad små reaktorer. Framför allt i USA föddes ett stort intresse. De små reaktorerna skulle vara svaret på de ekonomiska risker som stora byggprojekt innebär. De skulle också gå att serietillverka för att transporteras mer eller mindre färdiga till anläggningsplatsen. Många av de här nyutvecklade reaktorkoncepten tog också fasta på andra tillämpningar av kärnkraft än ren elproduktion. Bland annat intresserade man sig för processvärme till olika typer av industrier.

De lagar, förordningar och föreskrifter vi har kring kärnkraften i Sverige i dag är avsedda för stora lättvattenreaktorer på centraliserade anläggningar, som drivs av specialiserade kärnkraftsbolag. De är sämre anpassade för små reaktorer utplacerade där energi-behoven finns.

Det behövs en översyn av regelverket för att säkerställa att de nya reaktortyperna kan byggas i Sverige med bibehållen säkerhetsnivå, men utan att drabbas av krav som inte bidrar med säkerhetsnytta för den aktuella reaktormodellen [16]. Det finns i dag juridiska och tillståndstekniska utmaningar mot att kunna introducera nya reaktortyper i Sverige. Dessa utmaningar överskuggar sannolikt de tekniska och ekonomiska utmaningarna vid en introduktion av dessa nya reaktortyper i Sverige.

Författare: Carl Lowisin, Vattenfall

Granskning: Tomas Öhlin, Westinghouse

Bilder: Lasse Widlund

Vill du veta mer om små reaktorer?

Den här skriften har fokus på regelverket för små reaktorer. För mer information om själva reaktorerna och vad som händer på området ges här några lästips.

Fakta

- Energiforsk gav 2019 ut två skrifter om små reaktorer som förklarar mer utförligt vad de är, olika projekt som är på gång och hur de kan komma att användas [4, 17].
- World Nuclear Association har en mycket utförlig sida om små reaktorer [18].
- IAEA har flera tekniska rapporter om olika aspekter kring små modulära reaktorer [19].
- Energiforsks kärnkraftskonferens 2021 handlade om små modulära reaktorer, presentationer från konferensen finns tillgängliga [20].

Små reaktorer på gång – och igång

- I augusti 2020 fick företaget NuScale sin design godkänd för certifiering av USA:s kärnkraftsmyndighet (NRC) [21].
- I juni 2020 tog samma myndighet emot en ansökan från företaget Oklo för en liten reaktor på 1,5 MW elektrisk effekt [22].
- Det flytande kärnkraftverket Akademik Lomonosov, en pråm med två reaktorer på 35 MW elektrisk effekt vardera, är sedan maj 2020 i drift och levererar el till den ryska staden Pevek i östra Sibirien [23].
- Det kinesiska bolaget China National Nuclear Power fick i början på juni 2021 tillstånd att bygga en liten reaktor på 125 MW elektrisk effekt [24].
- I juni 2021 påbörjades bygget av den blykylda snabbreaktorn BREST-OD-300 på 300 MW elektrisk effekt i Seversk i Ryssland [25].

Källor och kommentarer

1. IAEA, "[Nuclear Power Reactors in the World](#)" (2021).
2. På engelska och även i svenska texter förekommer ofta de tre begreppen LWR (Light Water Reactor, lättvattenreaktor), BWR (Boiling Water Reactor, kokvattenreaktor) och PWR (Pressurized Water Reactor, tryckvattenreaktor).
3. I Analysgruppens skrift "[Kostnaden för nya reaktorer](#)" (2016) diskuteras vilka förhållanden som krävs för att klara av de här utmaningarna.
4. K. Värri och P. Seppälä, "[Small Modular Reactors](#)", Energiforsk Report 2019:625 (2019).

Se även IAEA, "[Advances in Small Modular Reactor Technology Developments](#)" (2020).

5. Hemsida för [Blykalla Reaktorer](#) Stockholm AB.
6. Sveriges Riksdag, "[Lag \(1984:3\) om kärnteknisk verksamhet](#)".
7. Sveriges Riksdag, "[Miljöbalk \(1998:808\)](#)".
8. Sveriges Riksdag, "[Förordning \(1984:14\) om kärnteknisk verksamhet](#)".
9. Strålsäkerhetsmyndigheten, [Föreskrifter](#).
Se även Analysgruppens skrift "[Myndighetskontroll av kärnkraftverk](#)" (2016).
10. Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om konstruktion och utförande av kärnkraftsreaktorer, [SSMFS 2008:17](#).
11. Sveriges Riksdag, "[Miljöbalk \(1998:808\), 17 kap. Regeringens tillåtlighetsprövning](#)".
12. Sveriges Riksdag, "[Proposition 2009/10:172 Kärnkraften – förutsättningar för generationsskifte](#)".
13. Modulärt bygge är faktiskt inte något unikt för små reaktorer, metoden används redan för vissa stora reaktorer. Förhoppningen är dock att den mindre storleken ska göra att det går att dra bättre nytta av den modulära byggtekniken.
14. Sveriges Riksdag, "[Förordning \(2008:463\) om vissa avgifter till Strålsäkerhetsmyndigheten](#)".
15. IAEA, [Small Modular Reactor \(SMR\) Regulator's Forum](#).
16. Den amerikanska kärnkraftsmyndigheten (NRC) har i samråd med industrin i USA börjat se över hur en sådan anpassning av regelverket för nya reaktortyper kan utformas. Mer information finns på NRC:s hemsida under rubriken "[Small Modular Reactor and Non-Light Water Reactor Technical and Policy Issues](#)".
17. R. Partanen, "[Small nuclear reactors and where to use them](#)", Energiforsk (2019).
18. World Nuclear Association, "[Small Nuclear Power Reactors](#)".
19. IAEA, "[Small Modular Reactors](#)".
20. Energiforsk, "[Annual Nuclear Conference 2021 on Small Modular Reactors](#)", 20-21 januari 2021.
21. World Nuclear News, "[NuScale receives US design certification approval](#)", 1 september 2020.
22. Nucnet, "[US Regulator Accepts Application For Aurora Plant At Idaho Site](#)", 16 juni 2020.
23. NEI Magazine, "[Akademik Lomonosov begins commercial operation](#)", 25 maj 2020.
24. World Nuclear News, "[China approves construction of demonstration SMR](#)", 7 juni 2021.
25. World Nuclear News, "[Russia starts building lead-cooled fast reactor](#)", 8 juni 2021.