

Något om kärnkraftverk

Norbert Batiuk
Abdullah Alsafi
Yasin Sharifi

Elektroteknik
EEK565 Elkraftsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2017

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.2 Avgränsningar	1
1.3 Historiskt perspektiv	1
2. Kärnkraft	2
2.1 Fission	2
2.2 Energiproduktion	3
2.2.1 Ånggenerator	3
2.2.2 Ångturbin	4
2.2.3 Generator	4
2.2.4 Transformator	4
2.3 Kylning	5
2.4 Komponenter	6
2.5 Avfallsförvaring	7
2.5.1 Slutförvaret för radioaktivt driftavfall, SFR	7
2.5.2 Centrat mellanlager för använt bränsle, CLAB	7
2.5.3 Slutförvaring	7
3. Är kärnkraft en hållbarenergikälla?	8
3.1 Miljö	8
3.2 Politik/Opinion	8
3.3 Framtiden	8
4. Diskussion	9
5. Två frågor	9
6. Referenser	10
7. Bilagor	11
7.1 Bilaga 1 – Enlinjeschema	11
7.2 Bilaga 2 – SFR	12
7.3 Bilaga 3 – CLAB	13
7.4 Bilaga 4 – KBS-3	14

1. Inledning

Kärnkraftsfrågan har länge präglat svenska såväl som internationella politiken till både gott och ont. Synen på teknologin har ständigt förändrats, initialt ansågs det vara rädden i nöden men på senare år har tekniken blivit allt mer kritiserad. Vad som kan konstateras är att kärnkraften är lika omdebatterad som effektiv. Men vad är det som gör kärnkraft såpass effektivt? Vad görs av med avfallet? Hur utvinns elektrisk energi ur atomkärnor samt vilka riskfaktorer medför teknologin? Det är frågor som ska besvaras i denna rapport.

1.1 Syfte

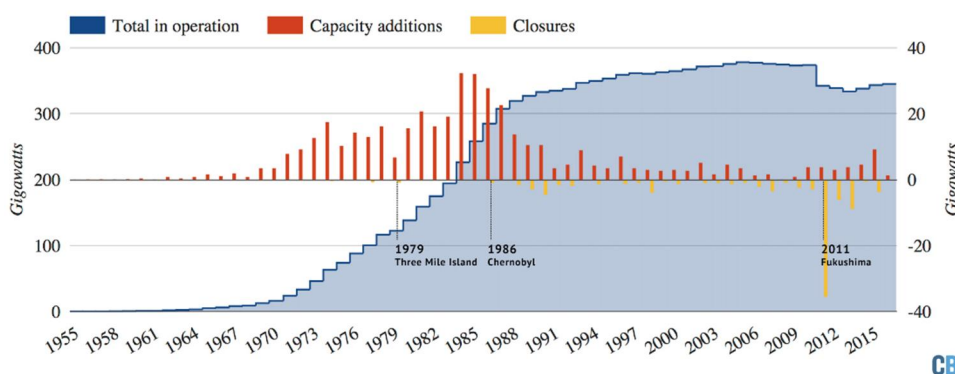
Syftet med rapporten är att utreda samt klargöra produktionsprocessen av elektrisk kraft ur kärnkraft, samt förklara ingående komponenter.

1.2 Avgränsningar

Det finns ingen standard för kärnkraftverk, vilket medför att alla anläggningar designas enskilt beroende på geografiska förutsättningar, leverantörer samt kapacitetskrav. Av detta skäl kommer svenska anläggningar beskrivas i grova drag. Kärnkraftsanläggningarna delas upp i olika generationer (generation 1, 2 och 3) efter deras ålder och särskilda tekniska lösningar. Av samma skäl finns inom de olika generationerna ett antal olika reaktortyper. Vidare av samma skäl, olika reaktorer har olika moderator för att producera energi genom fission. Av dessa skäl har vi begränsat oss av två olika typer av moderator som används i Sverige, tryckvattenreaktor (PWR) och kokvattenreaktor (BWR).

1.3 Historiskt perspektiv

Det första lyckade nukleära fission-experimentet utfördes i Berlin 1938 av de tyska fysikerna Otto Hahn, Lise Meitner samt Fritz Strassmann [1]. Under andra världskrigets gång påbörjades forskning inom andra länder, med främsta motivet att utveckla massförstörelsevapen. År 1942 utvecklades den tekniken för självuppehållande nukleära kedjereaktioner av Enrico Fermi som lade grunden för utvecklingen av Fat Man-bomben som fälldes över Nagasaki [1]. När freden uppnåddes i världen såg teknologin en annan tillämpning och det var elkraftsproduktion genom kärnkraft. Redan 1954 startades världens första kärnkraftverk i Obninsk i forna Sovjetunionen vars kapacitet uppgick till 5 MW. Kort därefter invigdes Cardel Hall i Sellafield, England med reaktorkapacitet på 50 MW [1].

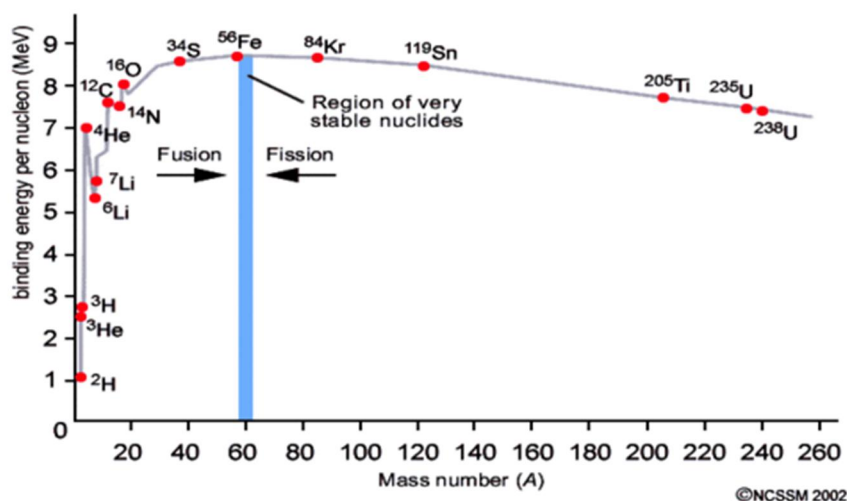


Figur 1 – Globalt kapacitetsutveckling. Bildkälla: www.carbonbrief.com

Redan 1960 uppgick den sammanlagda kapaciteten för världens kärnkraftverk till 1 GW och fortsatte att öka kraftigt under årtiondet. I slutet av 70-talet uppgick sammanlagda produktionen till 100 MW och 300 MW i slutet av 80-talet. Som det framgår i figur 1, stagnerade kapacitetsutvecklingen då kraftiga restriktioner trädde i kraft som kraftigt fördyrade teknologin samt ökade byggnationstiden. Dessa restriktioner tillsammans med fallande priser på fossila bränslen medförde att kärnkraftverk var inte längre lika lönsamma och därav mindre attraktiv energikälla [1].

2. Kärnkraft

Neutroner och protoner i atomkärnan är bundna av den fundamentala kraften "stark växelverkan" [1]. En atomkärna är ett system som ständigt strävar efter minimal energinivå som möjligt i form av bindningsenergi [2]. De kärnor som uppnår lägst energinivå är därav mest stabila. Grundämnet som har lägst energinivå är järn samt övriga närliggande grundämnen i periodiska systemet. I figur 2 framgår bindningsenergi som funktion av masstal, där framgår även hur man kan manipulera atomkärnor för att utvinna överskottsenergin. Lättare grundämnen än järn kan smidas samman till tyngre ämnen, t.ex två vätekärnor till helium. Principen kan även angripas från andra hållet, att tyngre atomkärnor klyvs till lättare grundämnen och på det sättet utvinna energin [2].



Figur 2 – Bindningsenergi per nukleon i MeV för vanliga nuklider som funktion av masstal. Bildkälla: Carbon Brief

2.1 Fission

Idag används olika kraftverk för att generera energi, kraftverk som förbränner olja, kol och naturgas för att producera el genom förångning av vatten. Vid aggregationstillståndövergången sker kraftiga tryckförändringar och gasflödet används som drivmedel för turbiner som i sin tur producerar elektricitet [1]. Skillnaden i ett kärnkraftverk är att det sker ingen förbränning, istället används uranbränslet för att producera el genom en process som kallas fission.

Denna process, kallad fission, orsakar splittring av uran atomer i en kärnreaktor. Fission, som är klyvning av tunga grundämnen, främst isotoper av uran, torium och plutonium. Fission i en reaktor kan ske spontant eller genom en beskjutning med neutroner som överför sin kinetiska energi på atomkärnan, som i sin tur sönderfaller [3]. Kärnor som klyvs avger två eller tre nya neutroner som klyver nästa atomkärnor, det skapas en kedjereaktion [1]. Denna kedjereaktion kan man i sin tur kontrollera och därmed upprätthålla en konstant energiutvinning [3].

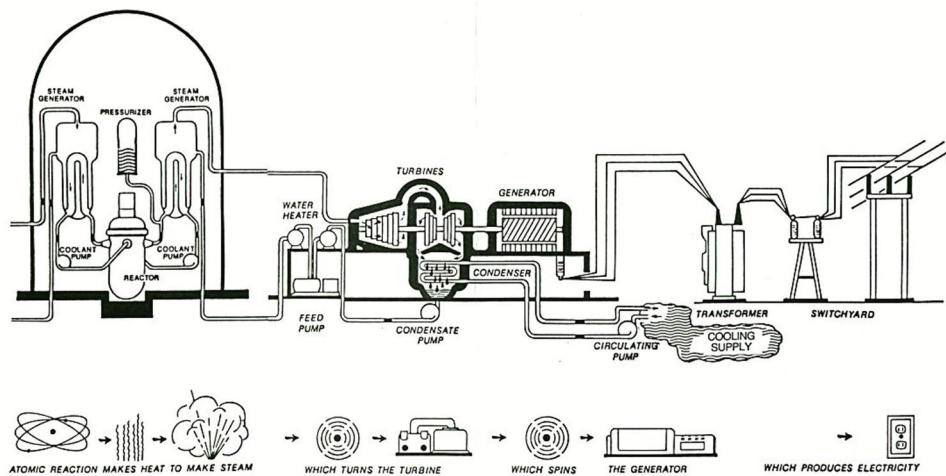
Kärnbränslet består av två typer uran, U-238 och U-235. Det mesta av uran i kärnbränslet är U-238, men U-235 splittras lättare [3]. I U-235-atomerna är kärnan, som består av protoner och neutroner, instabil. När kärnorna bryts upp släpper de neutroner, som det nämndes tidigare. Nedan beskrivs de viktigaste kärnreaktionerna i ett kärnkraftverk. I reaktionen (1) skjuts en neutron i u-235 atom vilket skapar en kärnreaktion där det bildas två ämnen X och Y, 2–3 neutroner och energi. Men Uran-235 är inte det enda möjliga bränslet för ett kraftverk. Ett annat klyvbart material är plutonium-239. Plutonium-239 skapas genom att bombardera U-238 med neutroner, vilket är en vanlig förekomst i en kärnreaktor, enligt reaktion (2). Sedan förekommer samma kärnreaktion som (1) när plutonium-239 bombarderas med neutroner och därmed samma ämnen (3) [3].



2.2 Energiproduktion

Denna sektion berör generella funktionsprinciper inom svenska kärnkraftverk. Elproduktionen sker generellt i följande ordning, se även figur 3:

1. Reaktorn driver turbinen t.ex. genom vattenånga. Atomenergi omvandlas till kinetiskenergi.
2. Turbinens axel driver generatoren. Kinetiskenergi omvandlas till elenergi. Generatoren avger exempelvis 20kV.
3. Elenergin transformeras exempelvis till 400kV.
4. Elenergin distribueras till konsumenten.



Figur 3 – generell funktionsbeskrivning för kärnkraft. Bildkälla: <http://www.nucleartourist.com/>

2.2.1 Ånggenerator

I en tryckvattenreaktor vatten har två olika kretslopp, vatten i primärkrets och vatten/ånga sekundärkrets. Detta gör att den producerade energin kan transporteras utan att vattnet ifrån de två delarna blandas med varandra [4]. Vattnet i primärkretsen är den vattnet som finns i reaktorhärden vattnet i sekundärkretsen är den vattnet som förångas i ånggenerator. Ånggenerator är en värmeväxlare som används för att omvandla vatten till ånga från värme som producerats i en kärnreaktor. De används i tryckvattenreaktorer mellan primär och sekundär kylvätskans slingor. Den uppvärmda vatten i primärkretsen har en temperatur på 315 grader Celsius [4]. I kokvattenreaktorer används inte ånggeneratorer, eftersom ångan produceras direkt i kärnreaktorer.

I ett kraftverk finns det två till fyra ånggeneratorer per reaktor, Varje ånggenerator kan ha en höjd till 21 meter och ha som vikt på 800 ton. Varje ånggenerator kan innehålla från 3 000 till 16 000 rör, vardera ca 19 mm i diameter [4]. Detta är på grund av att öka mängden överförd värme och den genererade effekten som måste värmeväxlingsytan maximeras. Detta erhålls genom att använda rör. Genom att hålla vattentrycket hög i primärsidan förhindrar man att vattnet koka. Detta sker med hjälp av en tryckhållare. Därefter pumpas vattnet i ånggeneratoren, vilket där sker värmeväxlingen [4].

Vatten som strömmar genom ånggeneratoren kokar vattnet på sekundärkretsen (som hålls vid ett lägre tryck än primärsidan) för att producera ånga. Ångan levereras vidare till turbinerna för att omvandla den termiska energin till den mekaniska energin. Ångan kondenseras därefter via kylvatten från en

separat vattenslinga (vanligtvis kylvatten från havet) och returneras till ånggeneratoren för att värmas upp igen [4].

Ånggeneratorrören försämras ofta över tid. Det finns risken om ett rör spricker medan ånggeneratoren är under drift, kan förorenade ånga komma in till sekundärkretsen. Därför under schemalagda underhållsavbrott eller avstängningar kontrolleras några eller alla ånggeneratorns rör genom virvelströmsprovning [4].

2.2.2 Ångturbin

Efter att ångan har skapats i ånggeneratoren, leds ångan vidare till en ångturbin. Ångturbinens huvudsyfte är helt enkelt att omvandla den värmeenergin (högtrycksångan) som har skapats av ånggeneratoren till mekanisk energi i form av axelrotation så att senare i processen generatoren kan rotera. Den här delen av processen är nästan samma i alla olika kraftverk (se bilaga 1). Alla kraftverk som gas, kol, vattenkraft och kärnkraft använder turbiner för att driva generatoren. I många delar av världen kommer en anläggning att ha två turbiner med halvfull belastning, snarare än en enda. Motorhuset med ångturbinen är vanligtvis strukturellt skild från huvudreaktorns byggnad. Denna energiomvandling sker i två steg, först i en mindre högtrycksturbin, och efter att ha passerat fuktseparator, sedan i två eller flera stora lågtrycksturbiner [5].

Turbinerna är oftast direkt kopplade till generatorer. Eftersom generatorerna måste rotera vid konstanta synkrona hastigheter, enligt elsystemets frekvens. De vanligaste hastigheterna 3 000 varv per minut för 50 Hz-system och 3 600 varv per minut för 60 Hz-system [5]. Eftersom kärnreaktorer har lägre temperaturgränser än fossila anläggningar med lägre ångkvalitet kan turbinaggregatuppsättningarna vara anordnade att arbeta vid halva dessa hastigheter men med fyrapoliga generatorer för att minska sönderfrätning av turbinblad [5].

2.2.3 Generator

Generatoren är kopplad direkt till ångturbinensaxel. Generators huvudsyfte är att omvandla den mekaniska energin som skapats av ångturbinen till elektrisk energi. I det här steg kan väljas att producera antingen likström eller växelström beroende på vilken generator som används i kraftverket. Möjligheten att transformera växelströmmen, gjort växelströmmen till en standard i de allmänna elnäten. De elektromagnetiska generatorerna hamnar i grova drag under två kategorier, dynamos och alternators. Dynamos genererar pulserande likström genom användning av en kommutator. Alternators genererar växelström. Tekniskt sett, består en generator av en roterande del och en stationär del. Den roterande del kallas för rotor och den stationära del som omger rotorn kallas för stator. Då rotorn kretsar i statorn skapar ett flöde av elektroner inuti tråden. Detta flöde av elektroner kallas elektricitet [6].

2.2.4 Transformator

Efter att elen har generats från generatoren, beroende på konsumenten regleras spänningsnivån så att den passar till olika syften. Elen kan antingen ansluts direkt till industrier eller transporteras till tätorter. Av ekonomiska skäl används högspänning för överföring av långa sträckor och lägre spänning för överföring inom korta sträckor till tätorter. En annan anledning till att spänningen omvandlas till en mycket högre nivå är att högre spänningar innebär lägre strömmar för samma effekt och därmed lägre förluster längs kablar. Dessa högre växelspanningar och strömmar kan sedan minskas till en mycket lägre, säkrare och användbar spänningsnivå. Allt detta är möjligt, tack vare transformatorn [7].

Transformator är en komponent som omvandlar elektrisk energi mellan olika ström- och spänningsnivåer. Transformatorn omvandlar elektrisk energi från krets till en annan utan någon direkt

fysisk anslutning och med hjälp av ömsesidig induktion mellan två lindningar. Transformatorn förvandlar ström från en krets till en annan utan att ändra frekvensen men kan vara i olika spänningsnivåer [7].

2.3 Kylning

Då det sker stora värmeutvecklingar i kraftverket krävs ett robust kylsystem. Vattenången som driver turbinen uppnår höga temperaturer. Vattenången måste avkylas och därmed kondenseras innan den pumpas till reaktorn återigen. Kallt vatten kyler ången mer effektivt och leder till effektivare elproduktion. Det finns tre olika system för att kyla ner vattenånga.

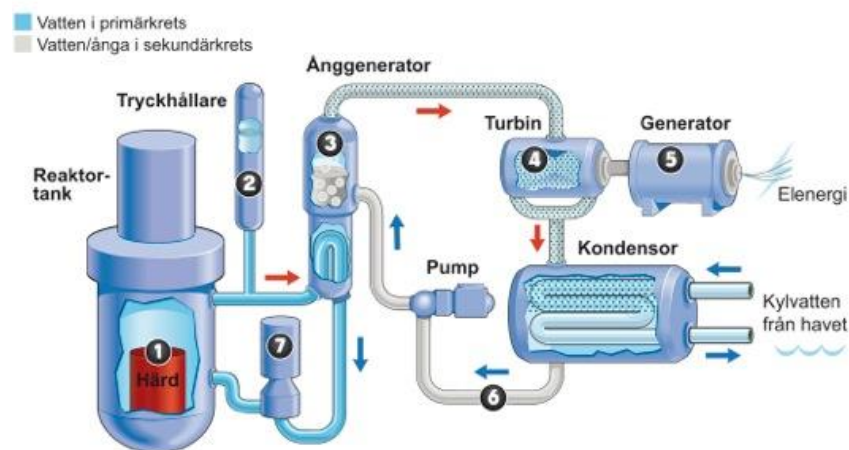
En gångsystemet tar vatten från närliggande källor som t.ex. sjöar, floder eller hav och cirkulerar det genom rör för att absorbera värme från ången i system som kallas kondensor, och som senare släpper vattnet tillbaka till den lokala källan [8]. Detta system var i början den mest populära på grund av dess enkelhet, låg kostnad och möjligheten att placera kärnkraftverk vid närliggande källor som tillför kallvatten. Dock har detta system en del påverkan på lokala ekosystem [8].

Cirkulerande systemet återanvänder kylvatten under en sekundärcykel istället för att omedelbart skicka den tillbaka till den ursprungliga vattenkällan [8]. Normalt använder detta system kyltorn för att utsätta vatten för omgivande luft. En del av vattnet avdunstar och resten skickas tillbaka till kondensorn i kraftverket [8]. På grund av att detta system bara drar ut vatten för att ersätta allt vatten som har förlorats genom förångning, har den mycket lägre vattenuttag än ett gångsystem, däremot har den en väsentligt högre vattenförbrukning [8].

Torrkylningssystem använder luft istället för vatten för att kyla ången som lämnar turbinen [8]. Detta system använder inget vatten och kan minska den totala kraftverkets vattenförbrukning med mer än 90 procent [8]. Avvägningarna till dessa vattenbesparingar är högre kostnader och lägre effektivitet. När det handlar om kraftverk betyder lägre effektivitet att mer bränsle behövs per producerad elektriskenergi, vilket i sin tur kan leda till högre luftföroreningar och miljöpåverkan [8].

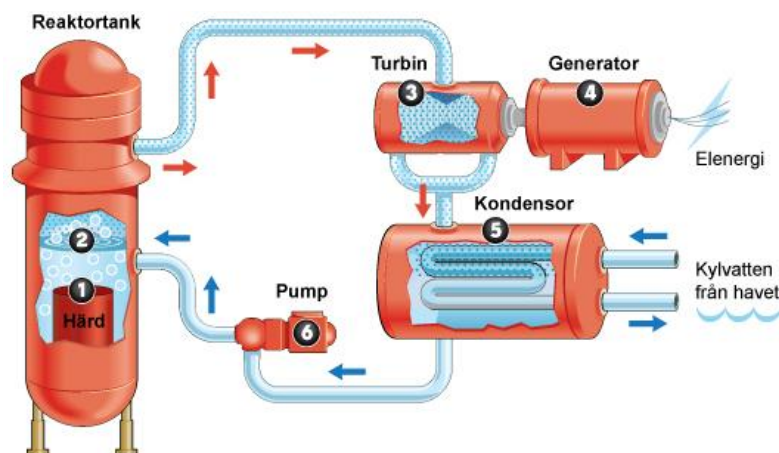
2.4 Komponenter

En tryckvattenreaktor och en kokvattenreaktor delar samma princip med hur energi omvandlas men båda reaktorerna delar inte exakt samma komponenter. En tryckvattenreaktor har 6 olika komponenter som bildar hela processen. Processen börjar i reaktorhärden (1) där uranbränslet klyvs, vilket värmer vattnet i tanken. Nästa del av processen är tryckhållaren (2), som ser till att vattnet inte kokar. Samtidigt kokas vatten i ånggeneratorn (3) i sekundärsidan [9]. Ångan förs till nästa komponent som är turbinen (4), vars axel är kopplad till generatoren (5) som skapar elenergi från turbinens rotation [9]. Vidare skickas ångan till kondensorn som kyla ner ångan till vatten och pumpar tillbaka den till ånggeneratorn. Slutligen skickas vattnet (7) i primärkretsens tillbaka för att kyla ned härden. Denna process demonstreras i figur 4 [9].



Figur 4: Här demonstreras processen för en tryckvattenreaktor. Bildkälla: Strålsäkerhetsmyndigheten

Processen för en kokvattenreaktor skiljer sig inte mycket från en tryckvattenreaktor, vilket i stort leder till att det används samma komponenter. Som i en tryckvattenreaktor börjar processen för kokvattenreaktorn i reaktorhärden (1), där uranbränslet klyvs och temperaturen höjs som orsakar vattenånga (2) [9]. Ångan skickas till turbinen (3) som skapar rotation och är direkt kopplad till generatoren (4). Även i denna process används en kondensor (5) för att kyla ner ångan till vatten igen och skicka den vidare till reaktorhärden med hjälp av en pump (6) [9]. Denna process demonstreras i figur 5.



Figur 5: Bilden demonstrerar processen för en kokvattenreaktor. Bildkälla: Strålsäkerhetsmyndigheten

2.5 Avfallsförvaring

Vattenfall fördelar radioaktiva avfallet i tre grundläggande kategorier, låg-, medel- och högaktivt avfall. Varje kategori i sin tur fördelas mellan kort- och långlivat avfall. Det radioaktiva driftavfallet är låg- samt medelaktivt. Objekt som klassas som driftavfall är skyddskläder, verktyg samt utbytbara komponenter som används inom strålningsutsatta områden. Det lågaktiva avfallet bevaras främst på kärnkraftverkets egna förvarutrymmen, eventuellt tillsammans med medelaktiva avfall. En del av det lågaktiva avfallet kan källsorteras och rengöras och därmed förklaras som icke-aktivt avfall. Medelaktiva avfall samt resten av lågaktiva avfall transporteras vidare till SFR, slutförvar för radioaktivt driftavfall, där avfallet beräknas att bevaras i ca 500 år. Använt kärnbränsle är högaktivt och förvaras på kraftverket i ett år innan det transporteras vidare till centralt mellanlager för använt bränsle, CLAB [10].

2.5.1 Slutförvaret för radioaktivt driftavfall, SFR

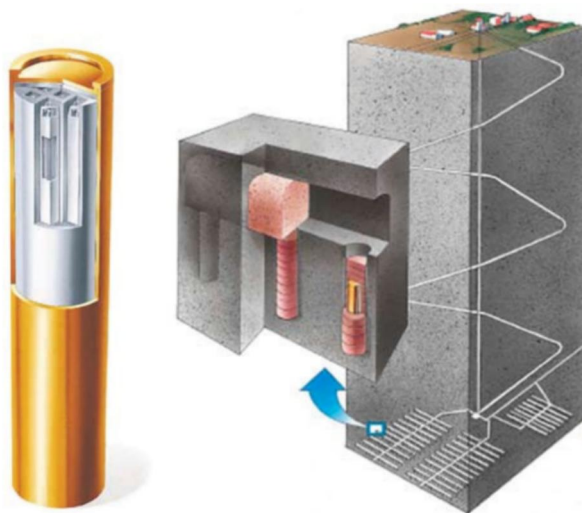
SFR är förvaringsplats som ligger flera hundra meter ifrån Forsmarks kärnkraftverk. Den är insprängd i berg 50 meter under vattenytan. Det är främst medelaktivt driftavfall som placeras i SFR, men även liknande avfall från industri, sjukvård och forskningsinstitut [10]. Avfallet placeras i särskilda bergrum beroende på avfallets intensitet och förväntas att lagras i 500 år. Se bilaga 2 för SKB:s officiella anläggningsbeskrivning.

2.5.2 Centrat mellanlager för använt bränsle, CLAB

CLAB är nära ansluten till Oskarshamns kärnkraftverk. Avfallet tas emot på markytan och förflyttas vidare ca 30 meter under markytan. Lagringsutrymmet består utav två likadana bergrum som är 120 meter långa. Ett bergrum innehåller fyra lagringsbassänger samt en reservbassäng. Bränslebehållarna förvaras i vattenfyllda bassänger, där vattnet tillgodoser både strålskärmning samt avkyler värmealstrande bränslet. Efter ca 40 år har radioaktiviteten minskat med ungefär 90% och därmed tas behållarna upp och bränslet kapslas om till kopparkapslar och fraktas till slutförvaringsanstalt [10]. Se bilaga 3 för SKB:s officiella anläggningsbeskrivning.

2.5.3 Slutförvaring

Nuvarande plan är att det inkapslade bränslet ska grävas 500 meter ner i berggrunden. Kopparkapseln utgör den viktigaste barriären, då den förhindrar bränslet från att förgifta grundvattnet. Kapseln ska slutligen bäddas in i speciell lera, bentonit, som sväller upp och fyller ut utrymmet mellan kapseln och berget. Kapseln ska bevaras där i 100 000 år. Figur 6 illustrerar den planerade slutförvaringen. Bygget planeras att påbörjas 2020 [10]. Se bilaga 4 för SKB:s officiella anläggningsbeskrivning.



Figur 6 - slutförvaring för kärnbränsle. Bygget planeras stå klart 2030. Bildkälla: SKB

3. Diskussion - Är kärnkraft en hållbare energikälla?

Denna sektionen berör grundliga miljöaspekter, politik, opinion samt möjliga lösningar för framtiden. I slutet av sektionen diskuteras kärnkraften och dess framtid.

3.1 Miljö

Även att driften av kärnkraftverk för med sig näst intill inga utsläpp av växthusgaser, finns det negativa miljöpåverkan som är direkt relaterade till kärnkraft. Framställningen av bränslet, framförallt uranbrytning står för den stora miljöpåverkan [10]. Dels direkt inverkan på landskapen för att erhålla råvaran ur gruvan men även indirekt genom framställning. Då uranmalmen behandlas bl.a. med svavelsyra och ammoniak, processen är även energikrävande då koncentrationshalten av bränslet, främst uran-235, skall vara högt. [11]

Den största miljöpåverkan kommer från byggnation samt rivning av anläggningen, då går åt stora mängder stål och betong. Det brukade materialet kan dessutom inte återvinnas, då mesta är utsatt för strålning och måste isoleras och förvaras upp till 500 år [10]. Vissa reaktordelar är såpass strålningsdrabbade att det måste hanteras på samma sätt som använt kärnbränsle [10]. Miljöpåverkan relaterat till förvar av används kärnbränsle kommer främst från transporten samt tillverkningen av kopparmaterialet som bränslen kapslas in i [12].

3.2 Politik/Opinion

Kärnkraften är å ena sidan ren och relativt billig men samtidigt oerhört riskfyllt. Varken allmänheten, vetenskapsmän eller politiker är eniga om kärnkraften ska utvecklas eller avvecklas. Ända sedan 1970-talet har kärnkraftsfrågan varit ständigt omdebatterat i svenska politiken. Efter en folkomröstning 1980 beslutade riksdagen att kärnkraften skulle avvecklas till 2010 [11], vilket naturligtvis inte blev av då kärnkraft än idag är en av Sveriges största energikällorna. Främsta orsaken till det är brist på hållbara alternativ.

Skälet till splittrad opinion beror framför allt på risken för allvarliga olyckor samt det svårhanterade kärnbränslet. Där många argumenterar för omedelbar avveckling medan andra vill se fortsatt utveckling av teknologin. Forskare hävdar att det finns stor effektiviseringspotential då mindre än 1% av energiinnehållet i kärnbränslet utnyttjas i dagens reaktorer [13]. Den förbättrade teknologin kommer på sikt bidra till minskad mängd avfall. Tekniken har fått namnet 4:e generationens kärnkraftverk.

3.3 Framtiden

Den så kallade 4:e generationen av kärnkraftverk är ett samlingsnamn för nya typer av reaktorer. En av dessa är t.ex. "snabba reaktorer" där man inte bromsar neutronerna som frigörs utan låter dem klyva de nya ämnen som bildas [14]. Motiven bakom utvecklade reaktorer är kärnavfall som bara varar i flera hundra år, en avsevärd skillnad från dagens ca 100 000 år [14]. Detta uppnås genom att fortsätta processen och klyva även restprodukterna. Uppskattningsvis finns det potential för 100–300 gånger mer energiutbyte från samma mängd kärnbränsle. Dessa reaktorer ska även ha förmågan att använda dagens kärnavfall som kärnbränsle [14].

Janne Wallenius, svensk fysiker och professor inom reaktorfysik, är känd inom branschen för sin forskning om 4:e generationens reaktorer. Wallenius erbjöds närmare 2 miljarder kronor riskkapital för att fullfölja forskningen inom blykylda snabba reaktorer. Hans nuvarande design beräknas att utnyttja kärnbränslet uppemot 50–100 gånger effektivare än dagens svenska anläggningar [14].

3.4. Diskussion

Det som kan kostanteras är att kärnkraft är oerhört potent energikälla som dessutom ser ut att förbli svenska primära elektricitetskälla under kommande åren. Att bygga och driva ett kärnkraftverk är en väldigt lång process där stora investeringar krävs och även stora risker är inblandade. Däremot bidrar kärnkraftverk med större och stabilare elproduktion än både solceller och vindkraftverk. Nackdelarna är dock högaktivt avfall och även stora ekonomiska kostnader ifall det sker ett driftstopp. Det finns stor effektiviseringspotential och idag pågår flertal forskningar världen över inom bränsleeffektivisering, säkerhetsåtgärder, avfallshantering samt avfallsåtervinning. Med dagens allmänna opinion samt politik ser det mörkt ut för svenska kärnkraftverk, även att det saknas en substitutionsteknik. Men ett framgångsrikt forskningsresultat får kanske allmänna opinionen att vända? Det återstår att se, men svenska kärnkraftverken kommer finnas kvar ett tag till.

4. Två frågor

1. Vilka typer av reaktorer används främst i Sverige?
2. Vilka anläggningar används primärt för att bevara kärnavfall i Sverige?

5. Referenser

[1] "Nuclear power", *Wikipedia*. [Online].

Tillgänglig: https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power

Hämtad: 3 maj 2017

[2] "Bindningsenergi", *Wikipedia*. [Online].

Tillgänglig: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Bindningsenergi>

Hämtad: 2 maj 2017

[3] "How Nuclear Reactors Work," NUCLEAR ENERGY INSTITUTE,. [Online]. Tillgänglig:

<https://www.nei.org/Knowledge-Center/How-Nuclear-Reactors-Work>

Hämtad: 2 maj 2017

[4] "Nuclear Power," <http://www.nuclear-power.net>, [Online]. Tillgänglig: <http://www.nuclear-power.net/steam-generator/>. Hämtad: Maj, 03, 2017.

[5] D. Struken, O. Bernstrauch Dr. R. Kloster, "Steam Turbine Generator Packages for Advanced Nuclear Power Plants ," i www.energy.siemens.com. [Online]. Tillgänglig:

https://www.energy.siemens.com/br/pool/hq/energy-topics/publications/Technical%20Papers/Steam%20Turbines/PowerGen%20Asia_2010_ST-sets-for-NPP_Bernstrauch.pdf. Hämtad: Maj, 05, 2017.

[6] Chris Woodford "EXPLAINTHATSTUFF!," *explainthatstuff.com*, 2017. [Online]. Tillgänglig:

<http://www.explainthatstuff.com/generators.html>. Hämtad: Maj, 02, 2017.

[7] "ElectronicsTutorials," *electronics-tutorials.ws*, [Online]. Tillgänglig: <http://www.electronics-tutorials.ws/transformer/transformer-basics.html>.

Hämtad: Maj, 05, 2017

[8] "How it Works: Water For Power Plant Cooling," Union of Concerned Scientists. [Online].Tillgänglig:

<http://www.ucsusa.org/clean-energy/energy-and-water-use/water-energy-electricity-cooling-power-plant#.WQxELOXyhPZ>

Hämtad: 5 maj 2017

[9] "Så fungerarett kärnkraftverk," Strålsäkerhetsmyndigheten, 2013-04-25.[Online].

Tillgänglig:<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/start/Karnkraft/Sa-fungerar-ett-karnkraftverk/>

Hämtad: 1 maj 2017

[10] "Kärnbränslecykeln", *Vattenfall*. [Online]

Tillgänglig: <https://corporate.vattenfall.se/globalassets/sverige/verksamhet/entreprenor-konsult/karnbranslecykeln.pdf>

Hämtad: 4 maj 2017

[11] "Älskade, hatade kärnkraft - finns du kvar 2050?", *Forskning*. [Online].

Tillgänglig: <http://www.forskning.se/2015/12/07/alskade-hatade-karnkraft-finns-du-kvar-2050/>

Hämtad: 3 maj 2017

[12] "Så påverkar våra kärnkraftverk miljön", *Vattenfall*. [Online].

Tillgänglig: <https://corporate.vattenfall.se/om-oss/var-verksamhet/var-elproduktion/karnkraft/miljopaverkan/>

Hämtad: 3 maj 2017

[13] A. Wenisch, R. Kromp, D. Reinberger, *Is there a Future for Nuclear?*, Österrike, 2007, [Online].

Tillgänglig: http://www.ecology.at/ecology/files/pr577_1.pdf

Hämtad: 2 maj 2017

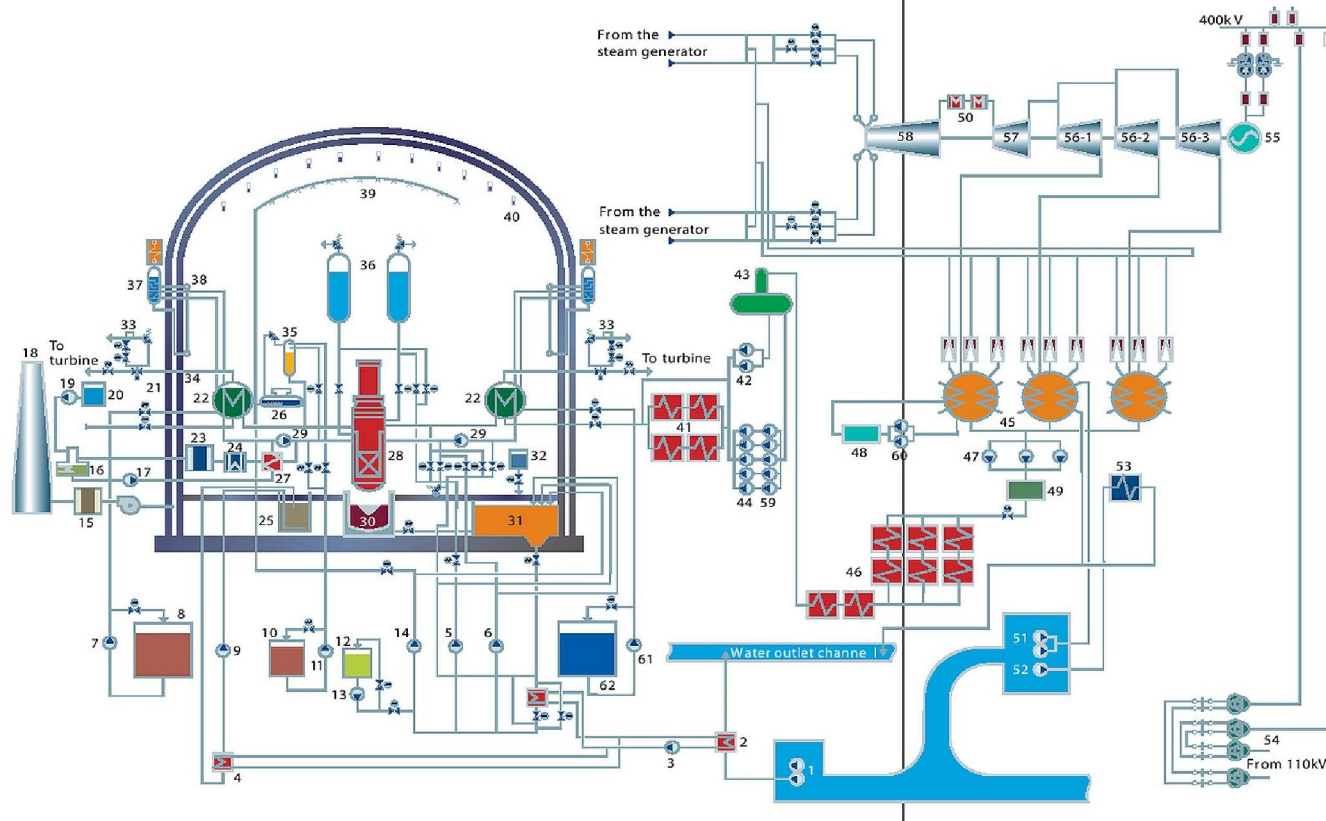
[14] A. Orring, "Miljonregn över svensk generation 4-reaktor", *Ny Teknik*. [Online].

Tillgänglig: <http://www.nyteknik.se/energi/miljonregn-over-svensk-generation-4-reaktor-6797513> Hämtad: 5 maj 2017

6. Bilagor

6.1 Bilaga 1 – Enlinjeschema

Schematic diagram, simplified



- 1 essential cooling water (or "service water") pump
- 2 intermediate cooling circuit heat exchangers for priority consumers
- 3 intermediate circuit pump
- 4 spent fuel pool heat exchanger
- 5 emergency injection system, low pressure pump
- 6 emergency injection system, high pressure pump
- 7 emergency feed water pump
- 8 storage tanks for high concentration boric acid
- 9 spent fuel cooling pump
- 10 storage tanks for boric acid solution
- 11 emergency boronisation system pump
- 12 storage tank for chemical reagents
- 13 supply pump for chemical reagents
- 14 containment spray system pump
- 15 filter
- 16 volume and chemical control system deaerator
- 17 volume and chemical control system pump
- 18 ventilation stack
- 19 controlled-leak pump
- 20 controlled-leak tank
- 21 external containment
- 22 steam generator
- 23 water treatment plant
- 24 after-cooler
- 25 spent fuel pool
- 26 bubbler tank
- 27 regenerative heat exchanger for the volume and chemical control system
- 28 reactor
- 29 reactor coolant pump
- 30 core catcher
- 31 emergency core cooling system sump and refuelling water storage tank
- 32 alkali (NaOH) emergency reserve tank
- 33 MSIV, safety and relief valve assembly
- 34 containment
- 35 pressuriser
- 36 ECCS hydroaccumulators
- 37 passive heat removal system tank
- 38 condenser for the containment passive heat removal system
- 39 spray system
- 40 passive hydrogen recombiner
- 41 high-pressure heaters
- 42 electric-powered auxiliary feed water pump
- 43 deaerator
- 44 electric-powered feed water pump
- 45 condenser
- 46 low-pressure heaters
- 47 condensate pumps, first stage
- 48 unit demineralised water plant
- 49 main condensate treatment
- 50 superheater
- 51 circulation cooling water pumps
- 52 cooling water pump for turbine hall consumers
- 53 turbine hall consumers
- 54 stand-by step-down transformer
- 55 generator
- 56 turbine low-pressure cylinders
- 57 turbine intermediate-pressure cyl.
- 58 turbine high-pressure cylinder
- 59 boost pump
- 60 condensate pumps for unit demineralisation plant
- 61 emergency feed water pump
- 62 demineralised water storage tank

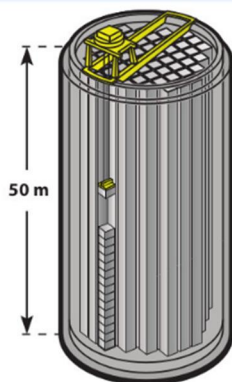
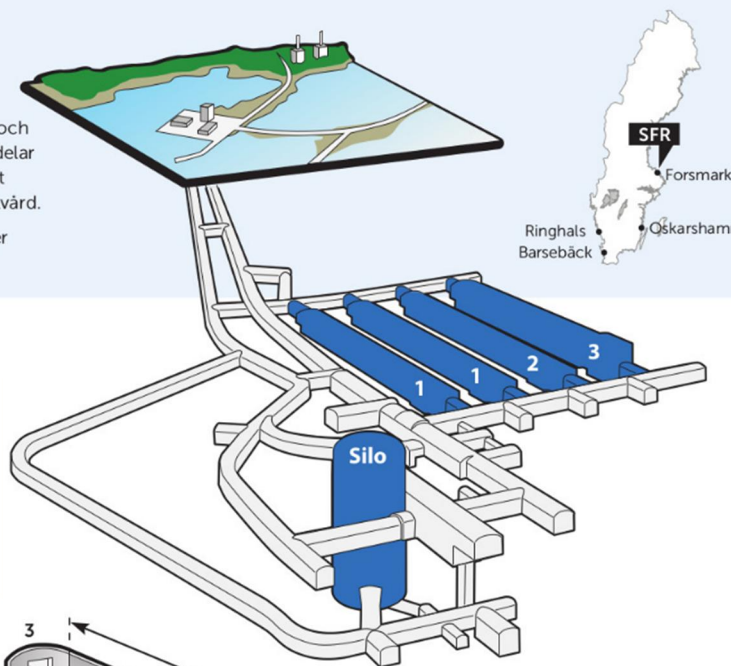
Bilaga 1 - förenklat diagram för elförsörjning, kylsystem samt reaktor. Källa: www.aame.in

6.2 Bilaga 2 – SFR

SFR – Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall

Det radioaktiva avfallet från kärnkraftverken består till största delen av låg- och medelaktivt driftavfall, som till exempel använda skyddskläder och utbytta delar från kärnkraftverken. Avfallet slutförvaras i dag i SFR, en anläggning på drygt 50 meters djup. Här finns även en del avfall från industri, forskning och sjukvård.

En utbyggnad planeras för att kunna ta hand om det avfall som uppkommer när kärnkraftverken rivs.



Silo

I silon förvaras främst ingjutna filtermassor som har använts vid rening av vatten från reaktorer. Filtermassorna klassificeras som medelaktivt avfall och innehåller huvuddelen av radioaktiviteten i anläggningen. All hantering är automatiserad och fjärrstyrd.

1. Betongtankförvar, BTF

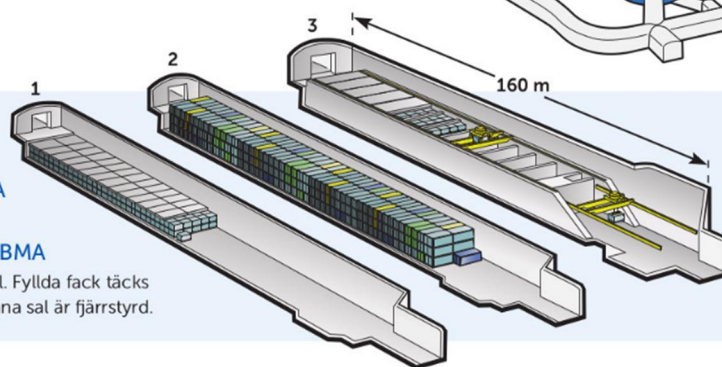
Medelaktivt avfall i betongtankar.

2. Bergssal för lågaktivt avfall, BLA

Lågaktivt avfall i vanliga containrar.

3. Bergssal för medelaktivt avfall, BMA

Fackinredd bergssal för medelaktivt avfall. Fyllda fack täcks över med betonglock. All hantering i denna sal är fjärrstyrd.



Fakta om SFR

Driftstart:	1988
Kapacitet:	63 000 m ³
Mottagning:	cirka 600 m ³ /år
Djup:	cirka 50 m

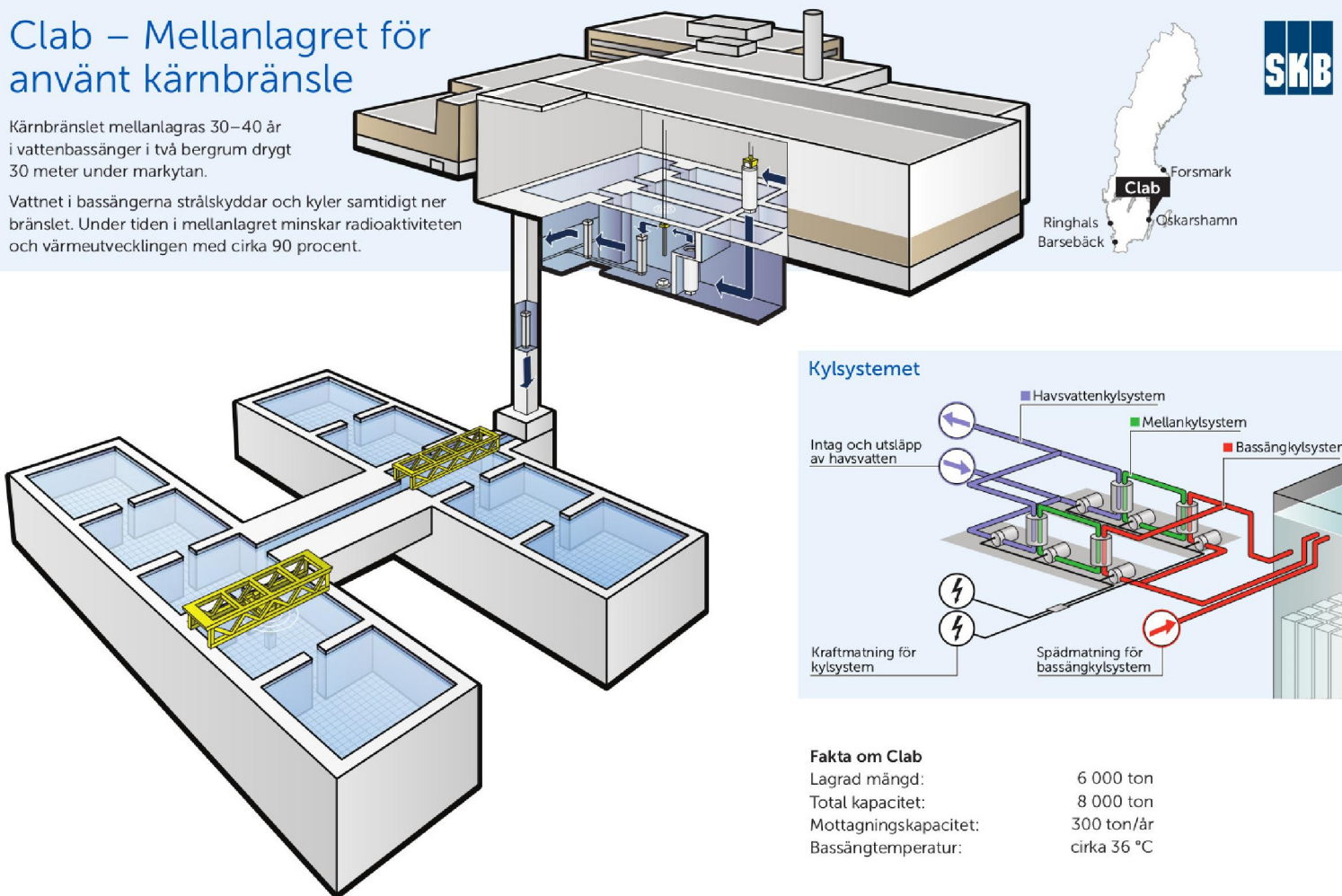
SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING

6.3 Bilaga 3 – CLAB

Clab – Mellanlagret för använt kärnbränsle

Kärnbränslet mellanlagras 30–40 år i vattenbassänger i två berggrum drygt 30 meter under markytan.

Vattnet i bassängerna strålskyddar och kyler samtidigt ner bränslet. Under tiden i mellanlagret minskar radioaktiviteten och värmeutvecklingen med cirka 90 procent.



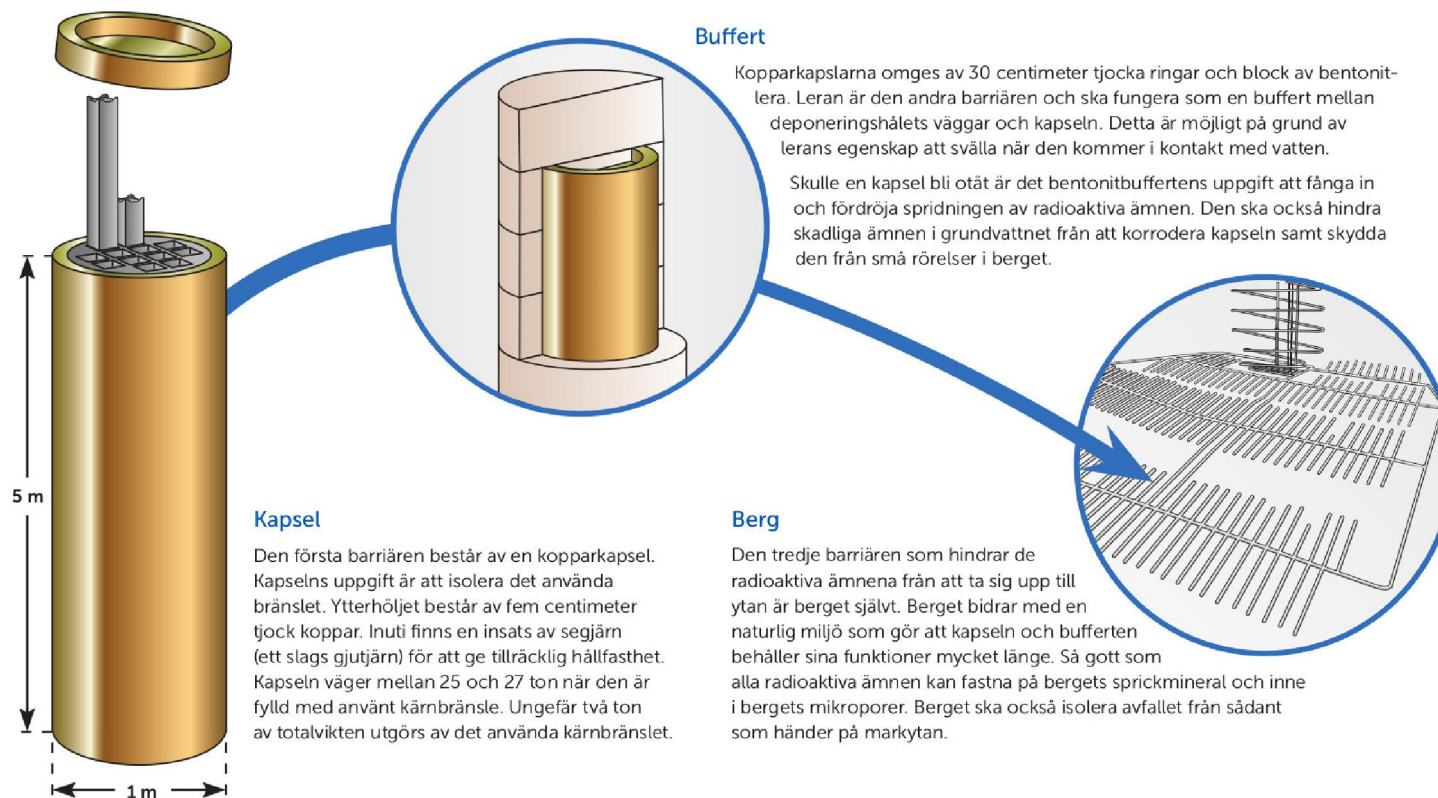
SVENSK KÄRNBÄNSLEHANTERING

Bilaga 3 – SKB:s officiella beskrivning av CLAB-anläggningen. Bildkälla: www.skb.se

SKB:s metod, KBS-3



Tre barriärer – kapseln, bufferten och berget – ska tillsammans hindra de radioaktiva ämnena i det använda kärnbränslet från att ta sig upp till markytan.



SVENSK KÄRNBÄNSLEHANTERING

Bilaga 4 – SKB:s officiella beskrivning av slutförvaringsanläggningen. Bildkälla: www.skb.se