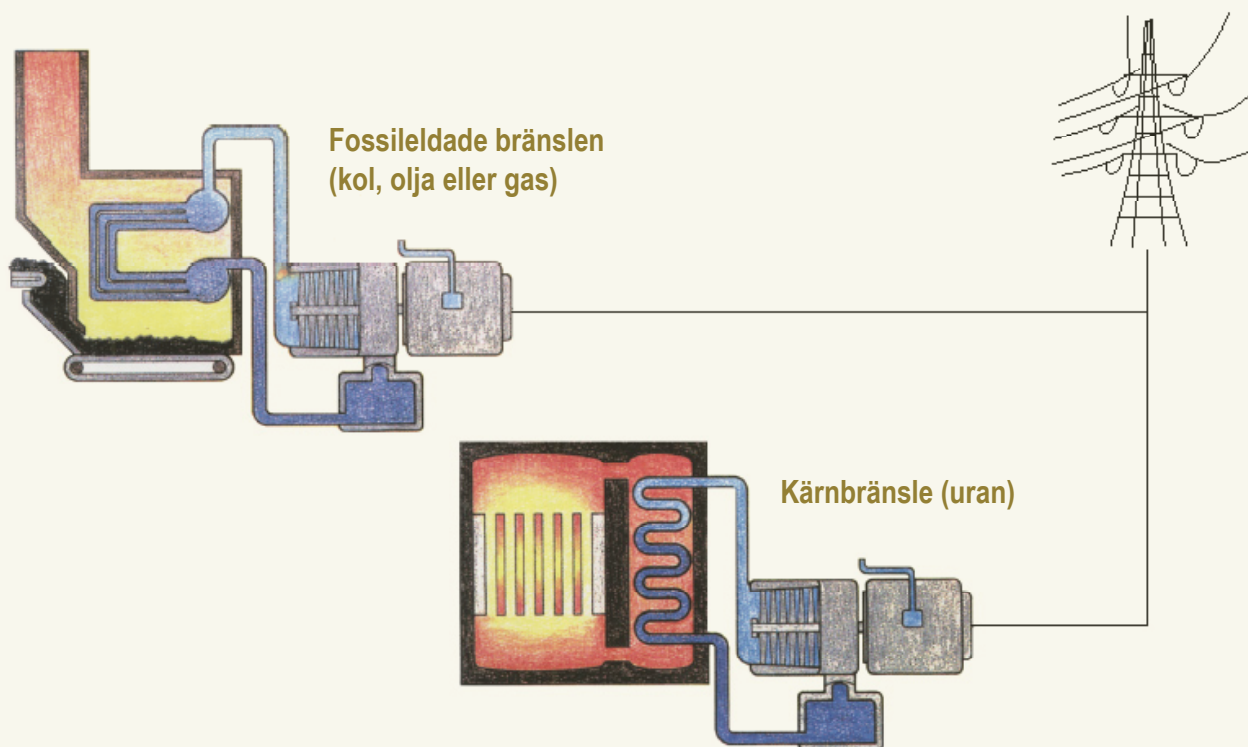


Framställning av elektricitet



Bilden visar två olika sätt att producera elektricitet.

Den övre bilden med hjälp av fossileldade bränslen (kol, olja eller gas) och den undre bilden med hjälp av kärnbränsle (uran). Den enda skillnaden är den typ av bränsle som används och därmed om det rör sig om en förbränning eller klyvning av atomer. När man eldar fossila bränslen använder man en ångpanna och klyvningen av atomer sker i en reaktortank. Målet är i båda fallen att framställa ånga som kan driva en turbin och leverera elektricitet till nätet.

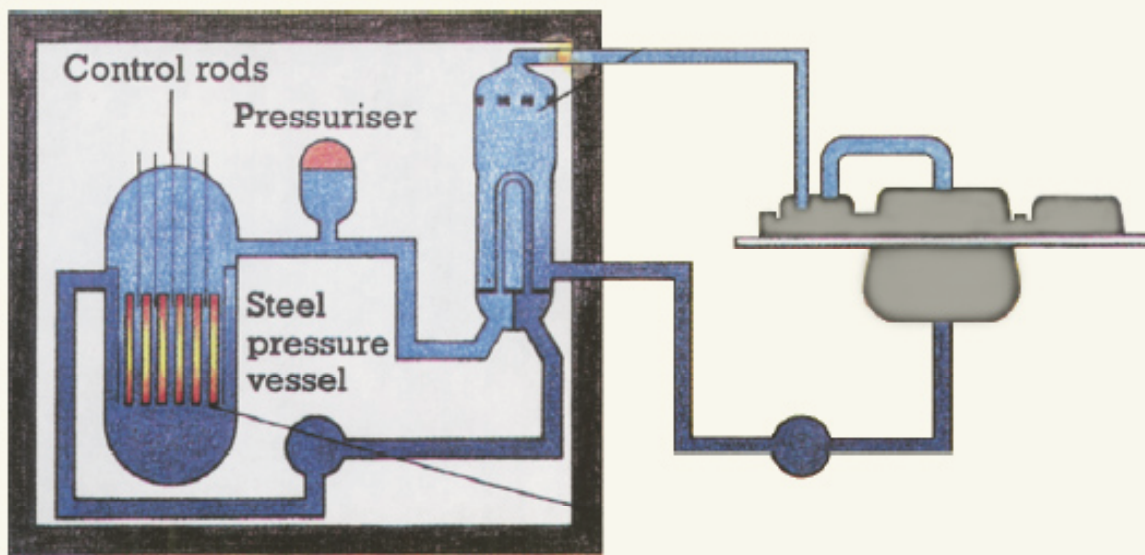
Pincipen är helt enkelt två olika sätt att koka vatten, som bildar ånga, som driver ett turbin-generatoraggregat, som genererar elektricitet.

De fortsatta bilderna visar på olika reaktortyper som har använts för att framställa elektricitet genom åren.

Den mest använda reaktortypen idag är lättvattenreaktorn. Samtliga svenska kärnkraftreaktorer är av lättvattentyp. Det finns dels en tryckvattenreaktor och dels en kokvattenreaktor (se nästa uppslag).

I Sverige finns idag tre tryckvattenreaktorer och sju kokvattenreaktorer i drift. Runt om i världen finns det totalt 442 kärnkraftverk i drift. Av dessa är mer än hälften tryckvattenreaktorer och knappt en fjärdedel kokvattenreaktorer. Ytterligare cirka 30 reaktorer är under byggnad runt om i världen, framförallt tryckvatten-, kokvatten- och CANDU-reaktorer.

Tryckvattenreaktor, PWR



Tryckvattenreaktorn (PWR, Pressurised Water Reactor) utvecklades först som framdrivningskälla för ubåtar. Den placerades sedan på land för att producera elektricitet. I reaktortanken och dess primärkrets värms vattnet under högt tryck och ångan genereras i en så kallad ånggenerator. I primärkretsen regleras trycket i en tryckhållare och primärvattnet cirkuleras med hjälp av reaktorkylpumpar. Bränslet, som är i form av urandioxid, är svagt anrikt på Uran-235.

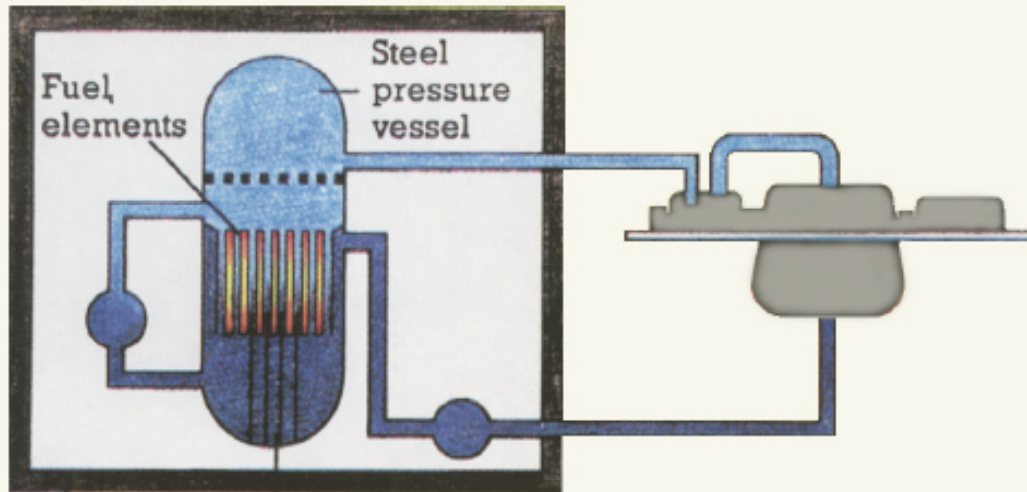
Bränslet tillverkas som kulsar som placeras i bränslestavar av en zirkoniumlegering (Zircaloy). Typiska data för en PWR är ett reaktortryck på 15 MPa och 324 grader C. Bränslet är anrikt till drygt 3% Uran-235. Den termiska verkningsgraden ligger på ungefär 32 %.

Bränslestavar byggs tillsammans och formar ett bränsleelement. Dessa bränsleelement placeras sedan i reaktortanken. Både kylmedel och moderator består av vanligt vatten (H_2O , därav namnet lättvattenreaktor). Med hjälp av styrstavar och genom att reglera borsyrahalten i reaktorvattnet kan man reglera klyvningen av uranatomerna i bränslet och därmed värma vattnet. Styrstavarna är placerade i toppen av reaktortanken och kan också friläggas så att de faller in i härden vid behov av att snabbt stoppa reaktorn.

Detta kallas reaktorsnabbstopp. Hela primärsystemet är placerat i en tät inneslutning av betong och stål. Reaktorinneslutningen har normal luftatmosfär och kan därför beträdas under drift.

Typiska data för en PWR är ett reaktortryck på 15 MPa och 324 grader C. Bränslet är anrikt till drygt 3% Uran-235. Den termiska verkningsgraden ligger på ungefär 32 %. Tryckvattenreaktorn har utvecklats både i väst (PWR) och i öst (VVER) och totalt finns det i dag i drift 212 PWR och 50 VVER. Ytterligare tryckvattenreaktorer är också under byggnad.

Kokvattenreaktor, BWR



I kokvattenreaktorn (BWR, Boiling Water Reactor) är trycket lägre än i tryckvattenreaktorn och man tillåter därmed kylvattnet att koka i reaktortanken. Ångan leds sedan direkt till ångturbinen.

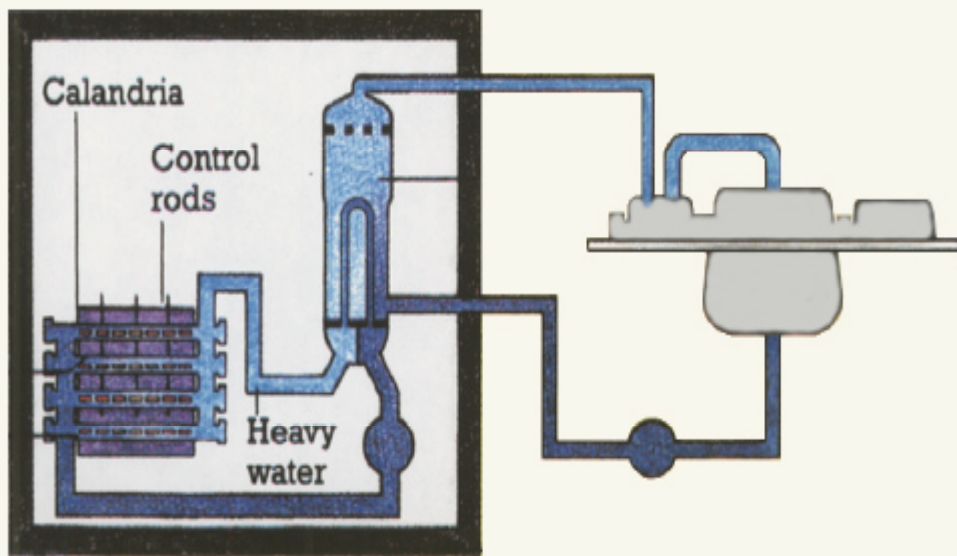
Kylvattnet fungerar också här som moderator och bränslet och härden är i stort sett uppbyggda som i tryckvattenreaktorn. Styrstavarna är placerade i botten på reaktortanken och regleras med hjälp av elmotorer. Vid behov av att snabbt stoppa reaktorn skjuts styrstavarna in i härden med hjälp av kvävgas.

Effekten kan dels regleras med styrstavarna men också med hjälp av huvudcirkulationspumparna. I de äldre kokvattenreaktorerna finns det yttre huvudcirkulationspumpar medan modernare kokvattenreaktorer har interna cirkulationspumpar, så kallade instickspumpar.

I kokvattenreaktorerna finns också en tät reaktorinneslutning av betong och stål som innesluter reaktortanken och dess omedelbara hjälpsystem. Reaktorinneslutningen är under drift fylld med kvävgas och kan då inte beträddas.

Typiska data för en BWR är ett reaktortryck på 7 MPa och 286 grader C. Bränslet är anrikat till cirka 3%. Den termiska verkningsgraden är cirka 32%. Idag finns det 92 kokvattenreaktorer i drift runt om i världen och ytterligare reaktorer är under byggnad.

Tungvattenreaktor, CANDU



I Kanada utvecklades tidigt tungvattenreaktor. Fördelen med tungvattenreaktor är att man kan använda naturligt uran som bränsle och man behöver därför inte anrika uranet i bränslet. Naturligt uran innehåller 0,7% U-235.

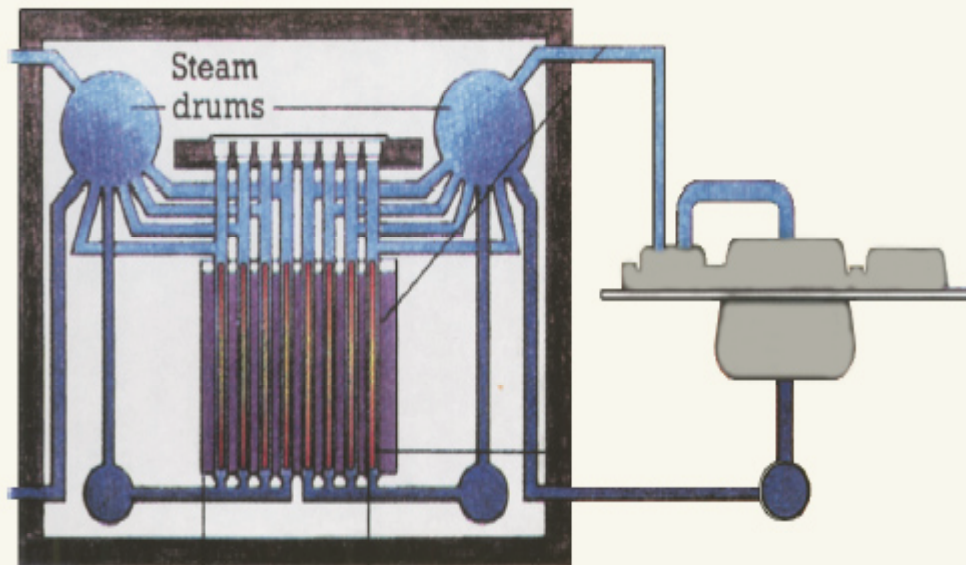
Bilden visar en CANDU reaktor som använder tungt vatten (D₂O) som både kylmedel och moderator. Bränslet, som består av naturligt uran, placeras i liggande trycktuber och kan också bytas under drift.

Kylmedlet cirkuleras i trycktuberna med hjälp av reaktorkylpumpar. Omkring trycktuberna finns också en tank, som benämns "calandria", och innehåller också tungt vatten som fungerar som moderator. Styrstavarna används här också för att reglera effekten och att snabbstoppa reaktorn vid behov.

För att snabbt sänka effekten kan man också tömma tanken, moderatorn, på sitt innehåll. I övrigt liknar primärkretsen tryckvattenreaktor med ånggeneratorer och reaktorkylpumpar.

Typiska data för en CANDU reaktor är ett reaktortryck på 8,7 MPa och 305 grader C. Bränslet är naturligt uran och den termiska verkningsgraden är ungefär 30 %. Det finns idag närmare 35 CANDU reaktorer i drift framförallt i Kanada men också i Indien, Sydkorea och Rumänien. Ytterligare CANDU reaktorer är under byggnad.

Tungvattenreaktor, SGHWR



Andra länder har också utvecklat tungvattenreaktorer liknande CANDU-reaktorn. Dessa reaktorer är mera prototyper än kommersiella reaktorer. Bilden visar en SGHWR (Steam Generating Heavy Water Reactor) som har stående trycktuber.

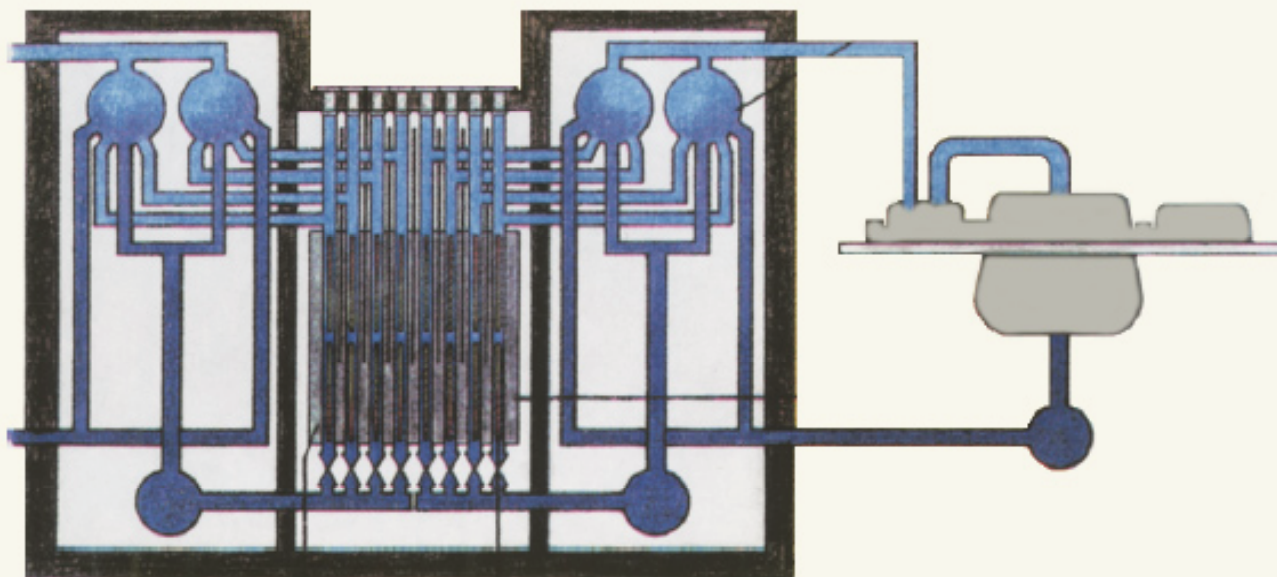
Bränslet, som i detta fall är svagt anrikt, placeras i trycktuberna och kyls av cirkulerande vanligt vatten (lättvatten).

Moderatorn är tungt vatten och förvaras i en tank (calendria) runt trycktuberna på samma sätt som hos CANDU-reaktorn.

Kylvattnet tillåts koka i härden och ångan samlas upp i ångsamlingslådor innan den leds till turbinen. Därmed liknar den RBMK reaktorn.

Typiska data för en SGHWR är ett reaktortryck på drygt 6 MPa och cirka 270 grader C. Bränslet är svagt anrikt till ungefär 2 %, U-235. Den termiska verkningsgraden är 32 %. Sverige utvecklade också tidigt tungvattenreaktorer (Ågesta och Marviken) men övergick sedan till lättvattenreaktorer.

Kanalkokarreaktor, RBMK



En reaktortyp, som utvecklats i det forna Sovjetunionen, blev känd för oss alla i och med Tjernobylolyckan. Den betecknas på ryska som RBMK-reaktorn vilket kan översättas till kanalkokarreaktor.

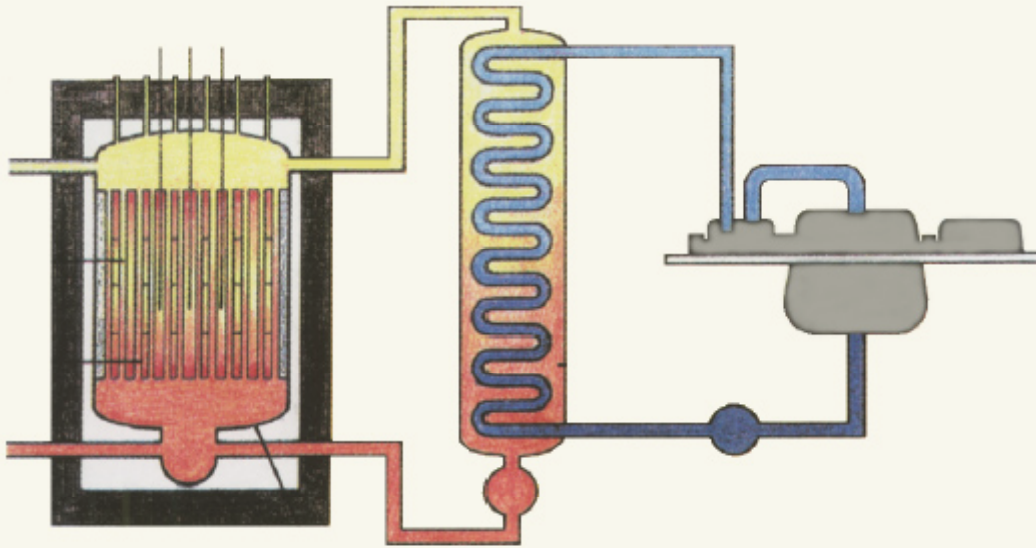
Den liknar SGHWR-reaktorn men använder grafit som moderator i stället för tungt vatten. Reaktorn har cirka 1700 trycktuber och bränslet är svagt anrikt. Kylmedlet tillåts koka i härden och ångan samlas upp i ångsamlingslådor innan den leds till turbinen.

Den betonginneslutning som visas på bilden tål inget högre tryck. Säkerhetsegenskaperna för denna typ av reaktor blev ju först kända i samband med händelsen i Tjernobyl.

Denna typ av reaktor finns idag i Ryssland, Litauen och Ukraina.

Typiska data för RBMK reaktorn är ett reaktortryck på 7 MPa med en temperatur på 284 grader C. Bränslet är anrikt till ungefär 2 %. Den termiska verkningsgraden är ungefär 31 %.

Gaskyld reaktor, Magnox



I England utvecklades tidigt en gaskyld reaktor som går under namnet Magnox. Namnet kommer ifrån den magnesiumlegering som används som bränslekapsling.

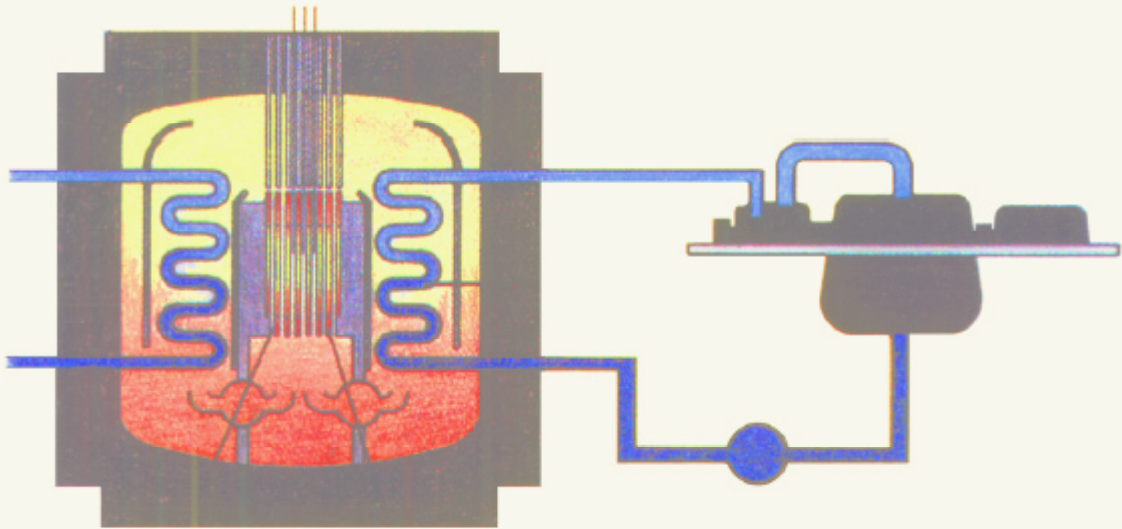
Bränslet är metalliskt naturligt uran och moderatören är grafit.

Bränslet kyls av koldioxid som cirkuleras av stora fläktar. I ånggeneratoren bildas ångan i sekundärkretsen som driver turbinaggregatet.

Bränslet finns i en reaktortank av stål som är placerad i ett betonghölje. Reaktorn har senare utvecklats till en AGR (Advanced Gas cooled Reaktor, se nästa bild).

Typiska data för Magnox reaktorn är ett reaktortryck på cirka 2 MPa och en gastemperatur på 400 grader C. Bränslet är inte anrikt och den termiska verkningsgraden är cirka 31 %. I Storbritannien finns idag 16 reaktorer av denna äldre gaskylda reaktortyp på åtta anläggningsplatser. Inga nya reaktorer av denna typ är planerade. Frankrike, Spanien, Italien och Japan har tidigare också drivit gaskylda reaktorer men dessa har idag ersatts av lättvattenreaktorer.

Gaskyld reaktor, AGR



Magnox reaktorn utvecklades vidare i England till en AGR (Advanced Gas cooled Reaktor).

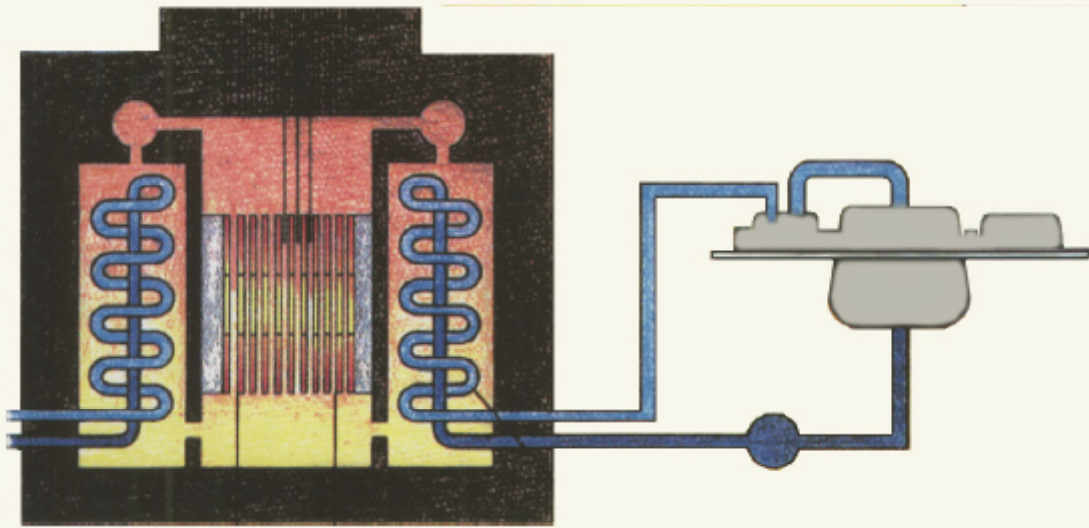
Bränslet är svagt anrikt urandioxid inneslutet i en kapsling av rostfritt stål. Detta möjliggör högre temperatur och tryck i primärkretsen än i Magnox reaktorer, vilket i sin tur ger högre termisk verkningsgrad.

Moderator och kylmedel är fortfarande som i Magnox reaktorerna grafit och koldioxid.

Hela primärsystemet, inkluderande reaktortank med bränslehard, ånggeneratorerna och huvudcirkulationsfläktarna, finns inneslutet i en betongtryckbehållare.

Typiska data för AGR reaktorn är ett reaktortryck på cirka 4 MPa och en gastemperatur på 650 grader C. Detta ger en termisk verkningsgrad på 42 %. Bränslet är anrikt till drygt 2 % U-235. I Storbritannien finns idag 14 reaktorer av denna typ. Inga nya reaktorer är under byggnad eller planerade. Den senast byggda reaktorn i England är en lättvattenreaktor.

Högtemperaturreaktor, HTR



En mer avancerad gaskyld reaktor som ännu inte nått kommersiell mognad är HTR-reaktorn (High Temperature Reactor). Experimentreaktorer har byggts tidigare i England, USA och Tyskland och nu senast i Sydafrika. Genom att använda ett bränsle med högre anrikat uran (10%, U-235) och tillverkat i små kulor tillsammans med grafitmoderatoren kan man driva reaktorn med högre temperaturer.

Detta ger också en hög verkningsgrad. Kylmedlet är i detta fall heliumgas. Ångbildningen sker som vanligt i ånggeneratorer och alltsammans är inneslutet i en betongtryckbehållare. På grund av den höga temperaturen på heliumgasen ser man också möjligheter till användning direkt i kemiska processer.

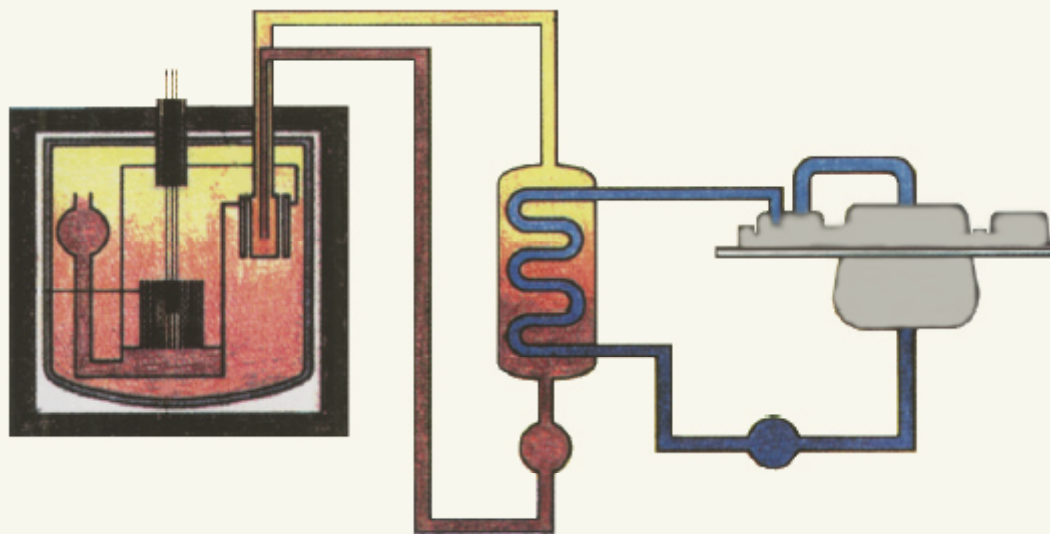
Typiska data för HTR reaktorn är ett reaktortryck på 4,7 MPa och en gastemperatur på 720 grader C vilket ger en termisk verkningsgrad på cirka 40 %.

I Sydafrika utvecklas för närvarande en version av HTR reaktorn som betecknas PBMR (Pebble Bed Modular Reaktor, se bild). I stället för en ångcykel, med ånggeneratorer i en sekundärkrets, använder man en direkt gascykel och leder heliumgasen direkt till gasturbinaggregat som kan generera elkraft.

Reaktortypen kan byggas i mindre moduler på cirka 110 MWe och kan därför vara ett bra elkraftproducerande alternativ för utvecklingsländer och i avlägsna delar av världen. Heliumgasen, som i denna reaktor har en temperatur på 950 grader C, ger en hög termisk verkningsgrad och är också lämpad för olika kemiska processer och industrier.

Reaktortanken är av rostfritt stål och har en grafitbeläggning på insidan. Bränslehärden består av bränslekulor, på cirka 6 cm i diameter, som innehåller en blandning av uran och grafit. Bränslets anrikning är 8 % U-235 och kan också drivas med torium och plutonium bränsle. Reaktortypen kan därför också vara lämpad att förbränna vapenmaterial.

Snabb bridreaktor



Snabba bridreaktorer (Fast Sodium Cooled Reactor) som kyls med flytande natrium har länge ansetts som det mest effektiva sättet att använda uranbränslet. På grund av plutoniuminnehållet i bränslet har dessa reaktorer dock haft svårt att accepteras politiskt.

Fr Frankrike, England och Ryssland byggde tidigt prototypreaktorer och Frankrike byggde också en kommersiell elproducerande reaktor på 1200 MWe (Super Phenix). Bränslet består av en blandning av plutonium (20%) och urandioxid inkapslat i rostfritt stål. I härdens yttre periferi finns utarmat urandioxidbränsle som på grund av neutronbestrålningen omvandlas till användbart bränsle. Därav namnet Bridreaktor (från engelskans "breed", med andra ord en reaktor som tillverkar nytt användbart bränsle).

Man använder sig inte av någon moderator, därav namnet snabb reaktor. Primärkretsen, som finns i reaktortanken, innehåller bränslehärd med styrstavar, huvudcirkulationspumpar för det flytande natriumet som utgör kylmedel och mellanvärmväxlare.

Mellanvärmväxlaren tillhör tillsammans med ånggeneratoren en mellankrets av flytande natrium. Anledningen till denna mellankrets är att natrium reagerar kraftigt med vatten vid ett eventuellt tubläckage i ånggeneratoren och därför bör inte ånggeneratoren tillhöra primärkretsen. I ånggeneratoren bildas sedan ångan som används till turbinaggregatet. Anläggningen har en hög termisk verkningsgrad.