



Så fungerar en **Kokvattenreaktor**

Svenska kärntekniska anläggningar



Vem sköter driften?

Varje kärnkraftsanläggning har ett centralt kontrollrum. Där leds den direkta verksamheten av en skiftingenjör, som är arbetsledare för ett skiftlag. Ett skiftlag består av minst

- 2 kontrollrumsoperatörer (en för reaktordelen och en för turbindelen) samt
- 3 stationstekniker (för hjälpsystem och skondning inom anläggningen).

Innan en kontrollrumsoperatör börjar arbeta i kontrollrummet krävs minst ett års teoretisk och

ett års praktisk utbildning. Normalt rör det sig om 3–4 års praktik.

I utbildningen ingår bl a en 6 veckors simulatorgrundkurs. Operatörerna genomgår därefter årligen 2–3 veckors återträning och vidareutbildning. En av dessa veckor används för simulatorträning.

Statens Kärnkraftsinspektion (SKI) kräver löpande redovisning av kontrollrumspersonalens kompetens.



Kontrollrumspersonalen tränas kontinuerligt i fullskalesimulatorer. En simulator ser ut precis som ett kontrollrum, men tänkbara händelser i reaktor- och turbinanläggningarna simuleras av en dator.

Kärnkraftproducenternas centrum för denna utbildning finns i Studsvik, med lokalkontor i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals, och drivs av Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU).

Forsmarks Kraftgrupp AB

Forsmarksverket

Forsmark 1	968 MW, klar 1980
Forsmark 2	964 MW, klar 1981
Forsmark 3	1155 MW, klar 1985

Svensk Kärnbränslehantering AB

Slutförvar för Radioaktivt Driftavfall

Kärnkraftindustrins slutförvar (SFI) för låg- och medelaktivt avfall från reaktordrift. Även slutförvar för lågaktivt avfall från annan industri och sjukvård. Lagret togs i drift 1988.

Westinghouse Atom

Bränslefabrik-Västerås

Här tillverkas bl a bränsleelement och andra hårdkomponenter för svenska och utländska reaktorer.

Ringhals AB

Ringhals 1	835 MW, klar 1976
Ringhals 2	870 MW, klar 1975
Ringhals 3	920 MW, klar 1981
Ringhals 4	915 MW, klar 1983

Barsebäck Kraft AB

Barsebäckverket

Barsebäck 2	600 MW, klar 1977
-------------	-------------------

Svensk Kärnbränslehantering AB

Centrallager för (mellanlagring av) använt kärnbränsle. CLAB togs i drift 1985.

OKG AB

Oskarshamnverket

Oskarshamn 1	445 MW, klar 1972
Oskarshamn 2	602 MW, klar 1974
Oskarshamn 3	1160 MW, klar 1985

KSU AB

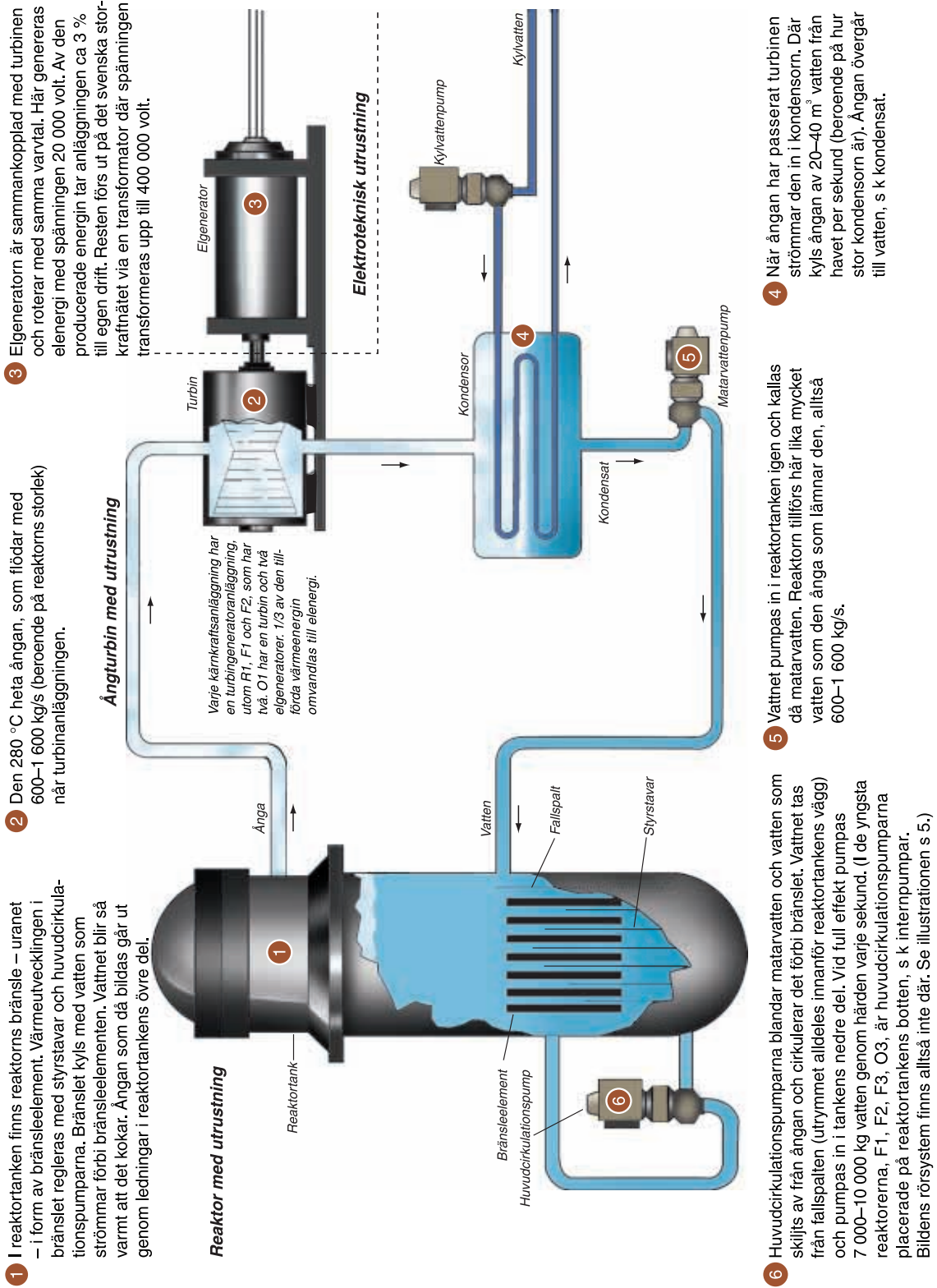
Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB

Utbildningscentrum
Kärnkraftverken driver genom KSU AB en gemensam skola för kontrollrumspersonal. Utbildning och träning i simulatorer. Huvudkontoret är placerat i Studsvik, med lokalkontor i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals.

Studsvik AB

- Materialprovningsreaktor 5 MW
- Hot Cell Laboratorium
- Anläggningar för behandling av radioaktivt avfall
- Instrumenttillverkning & kalibrering
- Materialprovningslaboratorier

Hur fungerar en kokvattenreaktor?



Vad finns i reaktorbyggnaden?

1 Reaktor

2 Ångledning

3 Bränslebassäng

Här förvaras använt bränsle i avvaktan på transport till Central-lagret för mellanlagring av använt bränsle (CLAB) vid Oskarshamn. Bassängen är vattenfylld – vatten är en bra strålskärm och ett bra kylmedel.

4 Bränslebytesmaskin

5 Taktravers

För avlyftning av reaktortanklocket.

6 Huvudcirkulationspumpar

7 Drivdon för styrstavar

Styrstavssystemet beskrivs på s 5 i häftet "Några viktiga hjälp- och säkerhetssystem för kokvattenreaktor".

8 Nedblåsningsrör

Beskrivs på s 9 i "Några viktiga hjälp- och säkerhetssystem för kokvattenreaktor".

9 Kondensationsbassäng

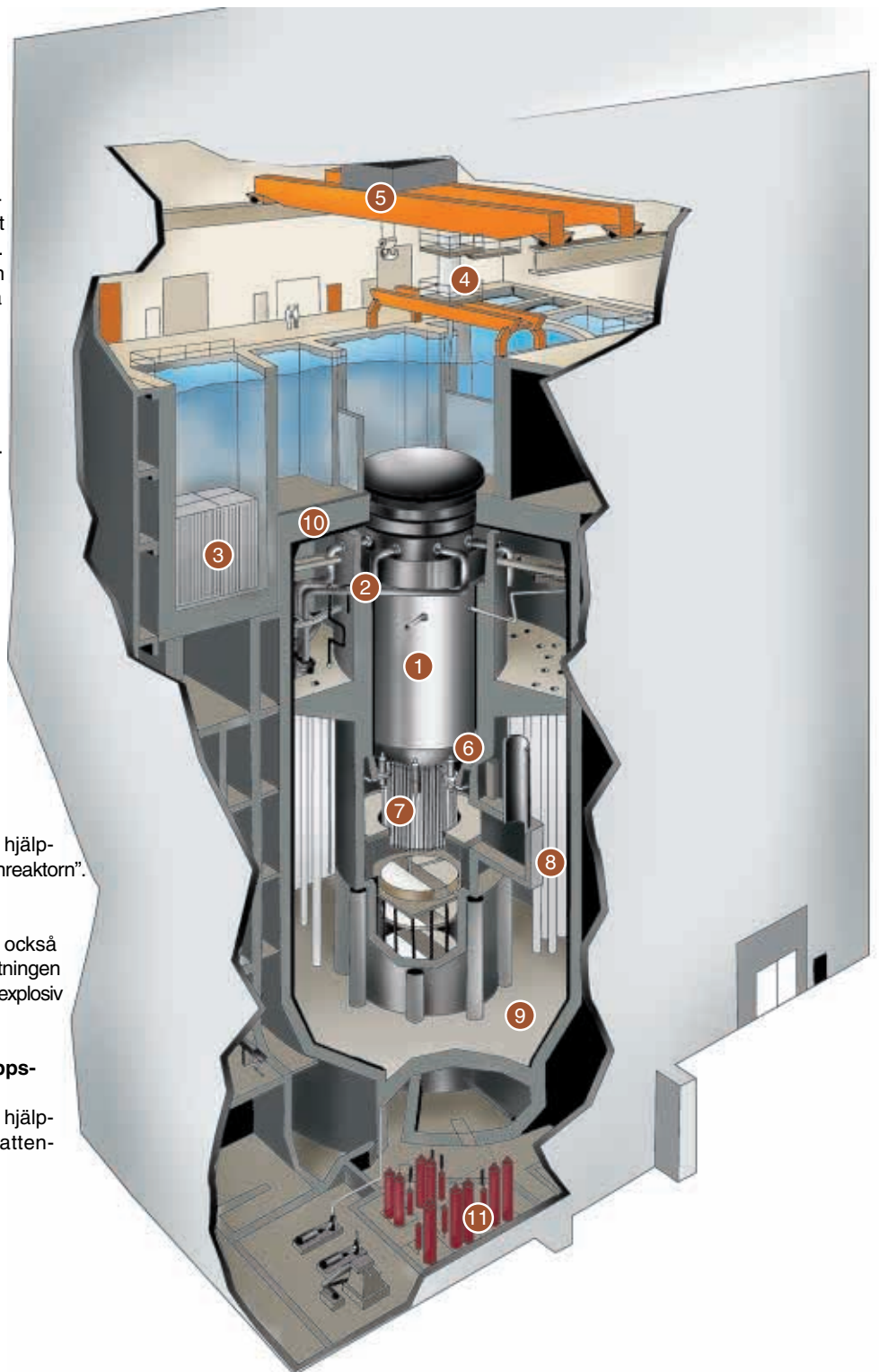
Beskrivs på s 7 i "Några viktiga hjälp- och säkerhetssystem för kokvattenreaktor".

10 Reaktorinneslutning

Klarar mycket högt tryck och är också strålskärm. Under drift är inneslutningen fylld med kvävgas, som hindrar att explosiv gas bildas vid ett haveri.

11 Kvävgastankar för snabbstopps-systemet

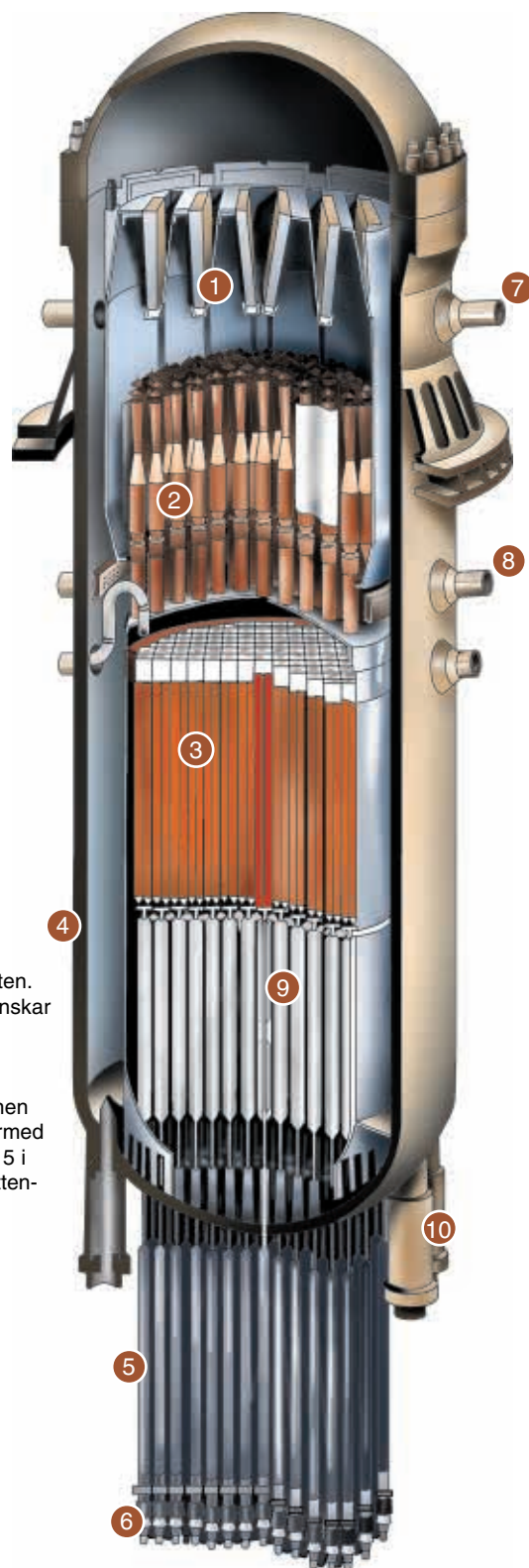
Beskrivs på s 5 i "Några viktiga hjälp- och säkerhetssystem för kokvattenreaktor".



Vad finns i reaktortanken?

Kokvattenreaktor BWR=Boiling Water Reactor

- 1 Fuktavskiljare**
Tar hand om de sista fuktresterna i ångan. Ångan strömmar genom veckade plåtpaket, vatten skiljs av och rinner ner i fallspalten.
- 2 Ångseparator**
Ångseparatorerna minskar ångans vattenhalt. Ånga-vattenblandningen sätts i rotation, vattendroppar skiljs då av och rinner ner i fallspalten.
- 3 Bränsleelement**
400–700 st som sammanlagt väger 80–120 ton.
- 4 Reaktortank**
En reaktortank är 20 m hög och 6 m i diameter. Tankväggen är ca 15 cm tjock.
- 5 Ledrör för styrvastdrivdon**
- 6 Drivdonsmotor**
- 7 Utlopp för ånga**
Det finns fyra eller fler utlopp.
- 8 Inlopp för matarvatten**
- 9 Styrvast**
100–175 st. Med styrvastarna regleras reaktoreffekten. När stavar dras ut ökar effekten, när de skjuts in minskar den.
- 10 Huvudcirkulationspump**
4–8 st, inbyggda som här, eller yttre som i illustrationen på s 4. Genom att ändra pumparnas varvtal, och därmed vattenflödet, kan man reglera reaktoreffekten (se s 5 i "Några viktiga hjälp- och säkerhetssystem för kokvattenreaktor").



Reaktorns bränsle

Naturligt uran är en malm sammansatt av isotoperna U-238 och till 0,7 % av U-235, den klyvbara isotopen som kan användas för kärnklyvning.

Kärnbränsle i svenska reaktorer innehåller ca 3 % U-235. Man måste alltså höja halten från de naturliga 0,7 %. Detta sker genom *anrikning*. Man får ca 1 kg 3-procentigt anrikat uran av 5 kg naturligt uran.

Naturligt uran till svenskt kärnbränsle kommer huvudsakligen från Kanada och Australien, men även från Niger och USA. Anrikningen gjordes tidigare i USA och Sovjetunionen, men görs nu huvudsakligen i Frankrike, Holland, Storbritannien och Tyskland.

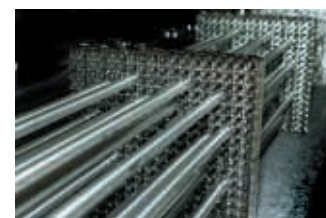
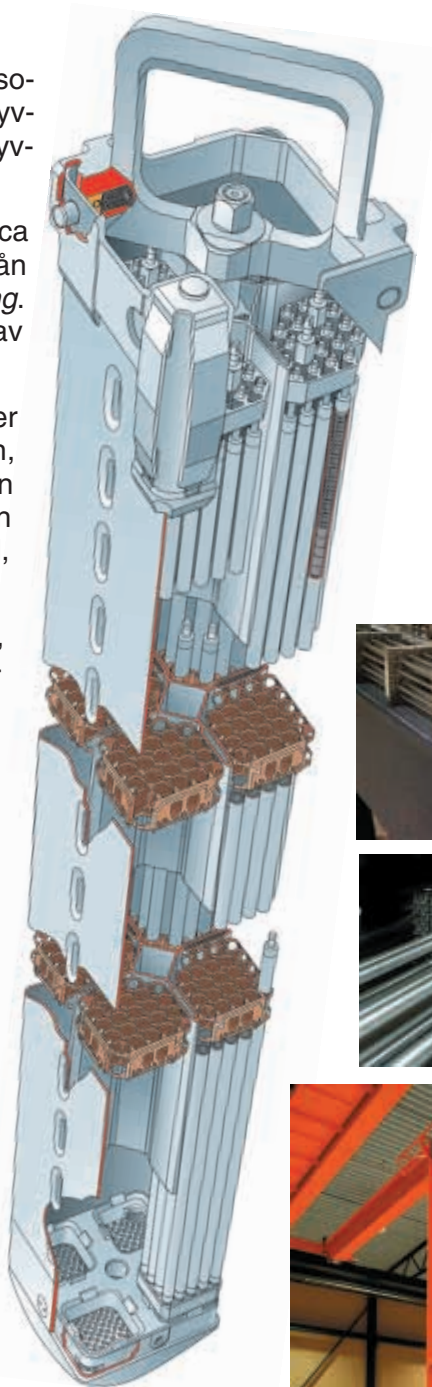
I bränslefabriker i USA, Västtyskland, Frankrike och Sverige omvandlas det anrikade uranet till uranpulver, i form av urandioxid, och pressas till små cylindrar. Dessa s k kutsar hettas upp så att de blir hårda (sintring) och kan slipas till rätt dimension. De fylls sedan i rör av metallegeringen zirkaloy, och blir *bränslestavar*. Stavarna är ca 3,7 m och innehåller 300–370 kutsar.

Stavarna monteras ihop till knippen, *bränsleelement*. I en svensk kokvattenreaktor finns 400 till 700 bränsleelement som innehåller sammanlagt upp till 70 000 stavar. I en svensk tryckvattenreaktor finns ca 160 bränsleelement med tillsammans upp till 42 000 stavar.

Varje år byter man i en kokvattenreaktor ca 20 %, dvs 20–30 ton av bränslet, i en tryckvattenreaktor 25 %, eller 20 ton. Varje gram uran i en BWR har då producerat ca 220 kWh, och i en PWR ca 280 kWh elektrisk energi. Ungefär dubbelt så mycket energi har samtidigt producerats i form av värme som har kylts bort.

Isotopsammansättning för färskt och använt bränsle:

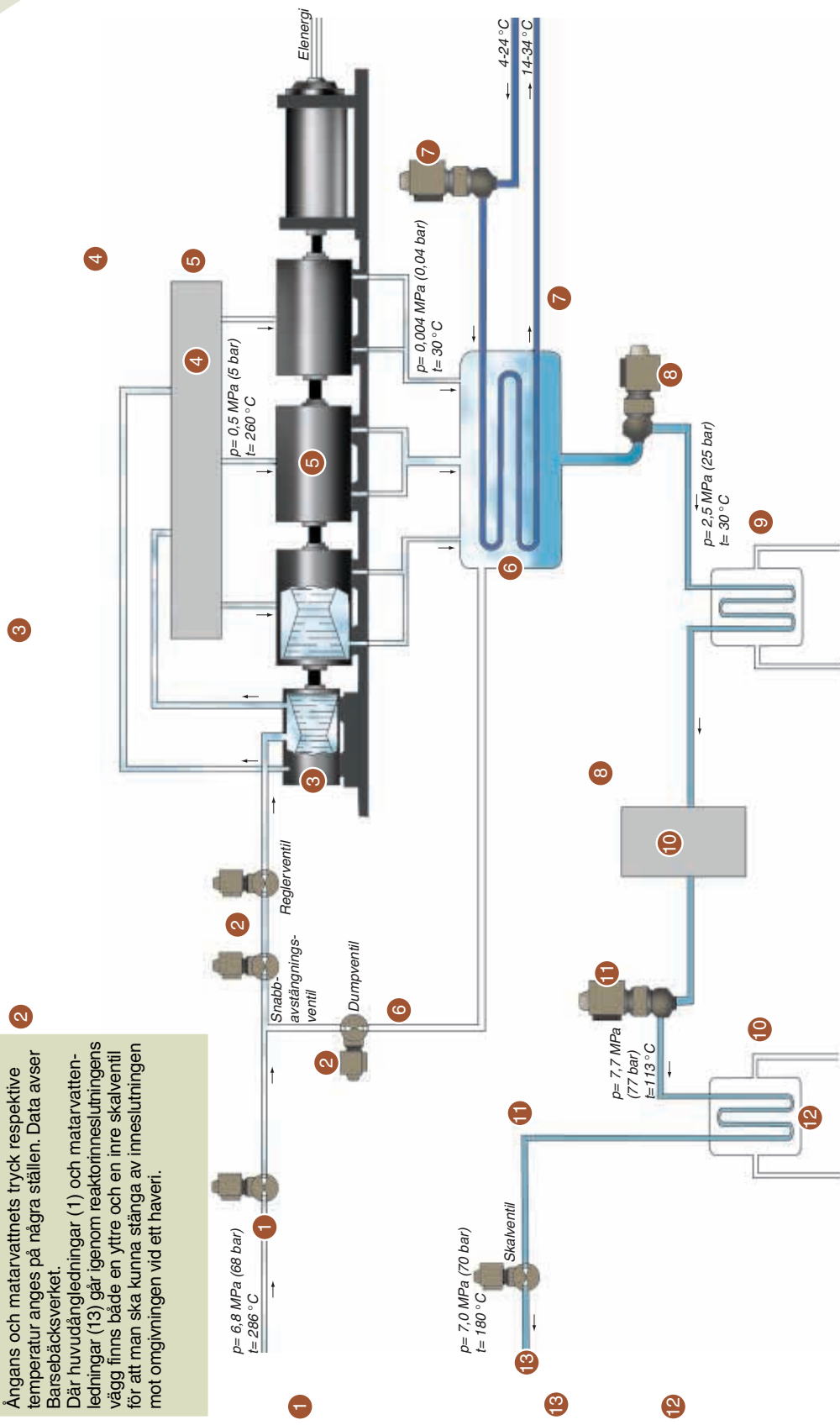
	Nytt	Använt
Uran-238	96,5 %	95,0 %
Uran-235	3,5 %	0,5 %
Plutonium	-	0,9 %
Klyvningsprodukter	-	4,6 %
Övrigt	-	0,7 %



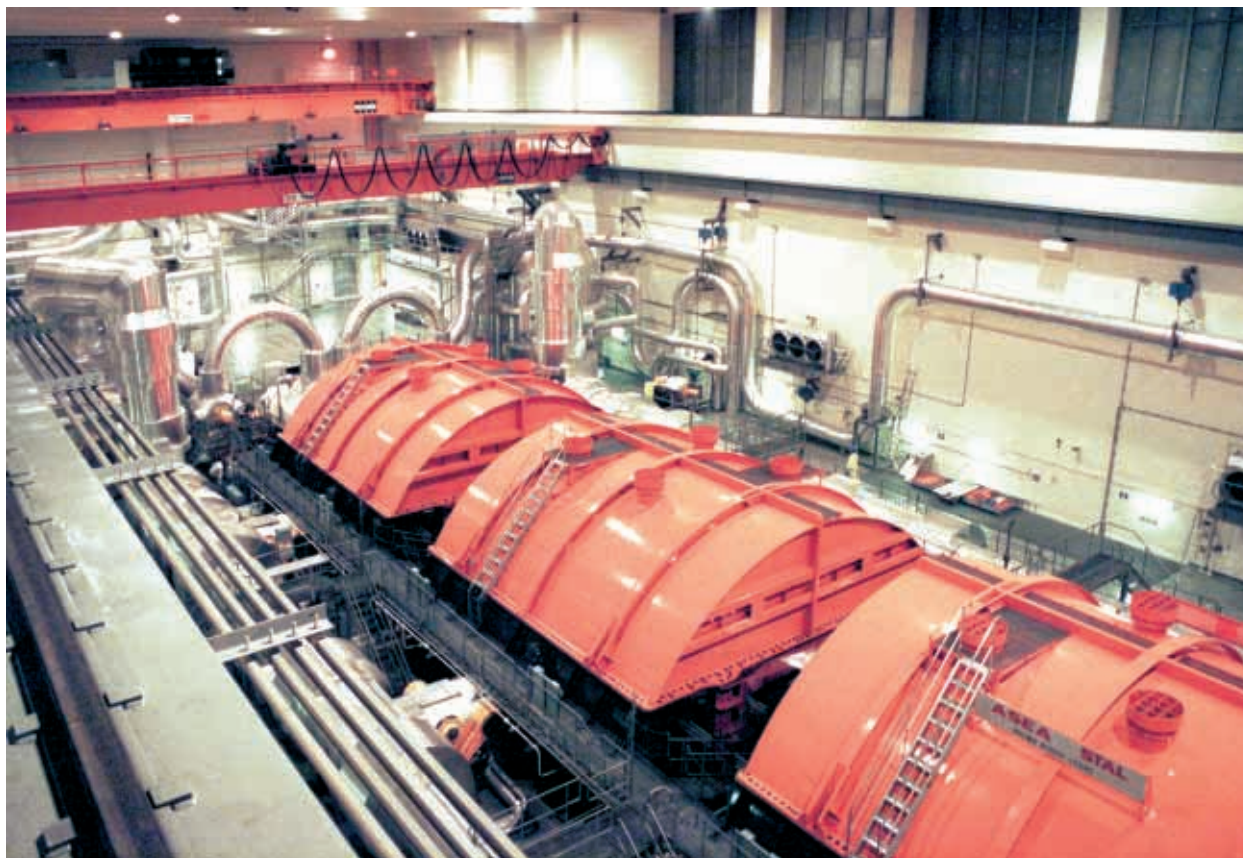
Tillverkning av reaktorbränsle vid bränslefabriken i Västerås.

Mer om ång- och matarvattensystemen

Ångans och matarvattnets tryck respektive temperatur anges på några ställen. Data avser Barsebäcksverket.
 Där huvudångledning (1) och matarvattenledning (13) går igenom reaktorn i slutningens vägg, finns både en yttre och en inre skalventil för att man ska kunna stänga av inneslutningen mot omgivningen vid ett haveri.



Mer om turbinanläggningen



Turbinanläggningen på O3.

I ångturbinen omvandlas den värmeenergi som alstras i reaktorn till mekanisk energi, och i elgeneratoren omvandlas den mekaniska energin till elenergi.

Turbinanläggningen består som regel av en högtrycksturbin (HT-turbin) och tre lågtrycksturbiner (LT-turbiner), som alla sitter på samma axel som elgeneratoren. Omvandlingen från värmeenergi till mekanisk energi sker genom att ånga vid högt tryck strömmar mot skovlarna i turbinerna.

Efter sista skovelsteget i lågtrycksturbinerna har trycket sjunkit från 7 MPa till 0,004 MPa. Om denna trycksänkning skulle ske i en enda turbin skulle man få vätskedroppar i ångan, vilket kan

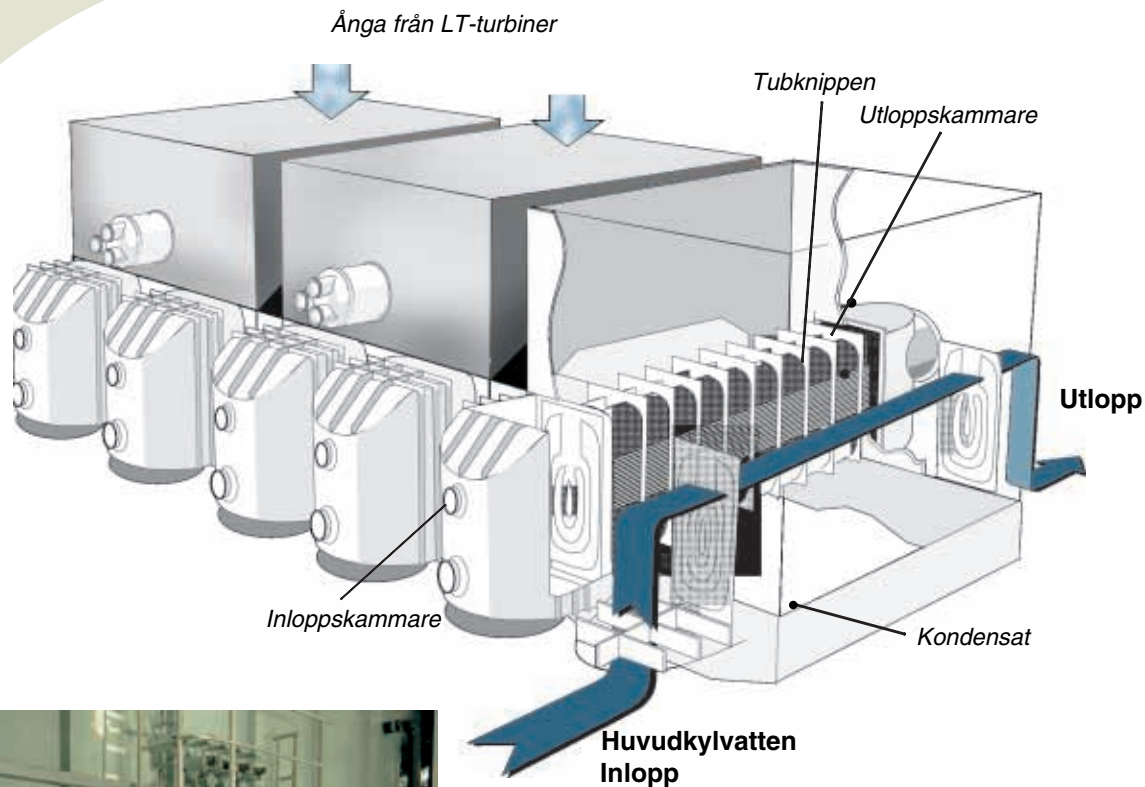
skada turbinskovlarna. Därför är turbinen delad i en högtrycksdel och en lågtrycksdel.

Ångans tryck efter HT-turbinen är ca 0,5 MPa.

Ångan leds därefter till en mellanöverhettare, där den befrias från fukt och återuppvärms innan den förs vidare till LT-turbinerna.

När ångan lämnat LT-turbinerna leds den till kondensorn. Där kondenseras den på utsidan av kondensortuberna, som genomströmmas av havsvatten.

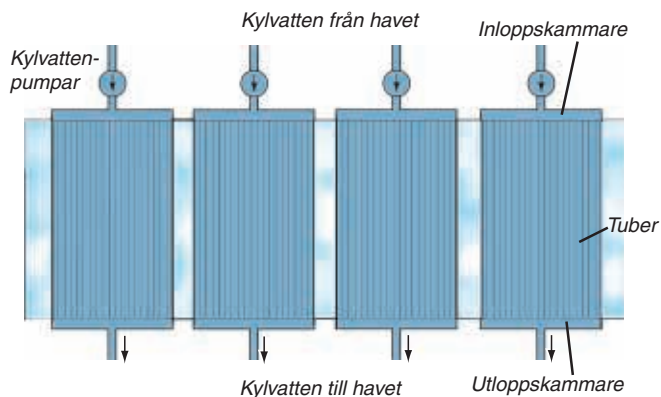
Mer om kondensorn



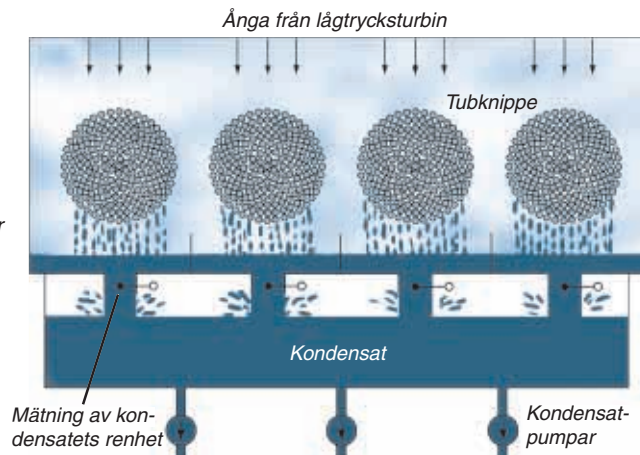
Kondensorn, som är placerad under lågtrycksturbinerna, är i princip en stor värmeväxlare. Den innehåller 30 000-60 000 rör, som genomströmmas av havsvatten.

Ångan från lågtrycksturbinerna strömmar in i kondensorn och träffar rören utsidor. Ångan kondenseras och samlas som vatten, *kondensat*, på kondensorns botten. Kondensatet pumpas sedan vidare av kondensatpumparna.

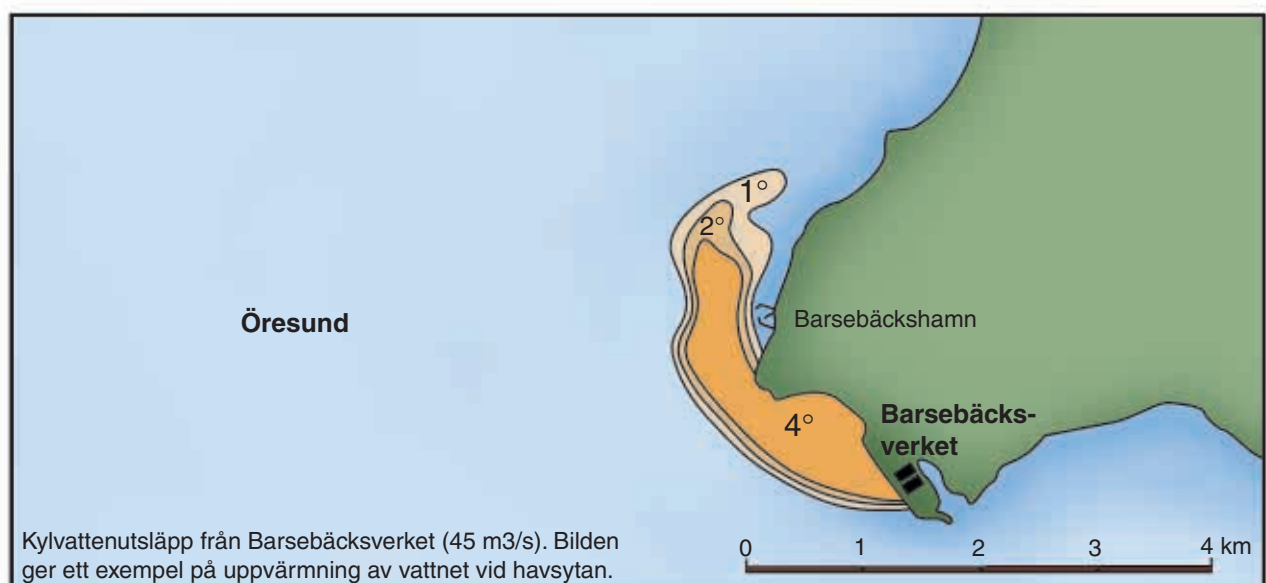
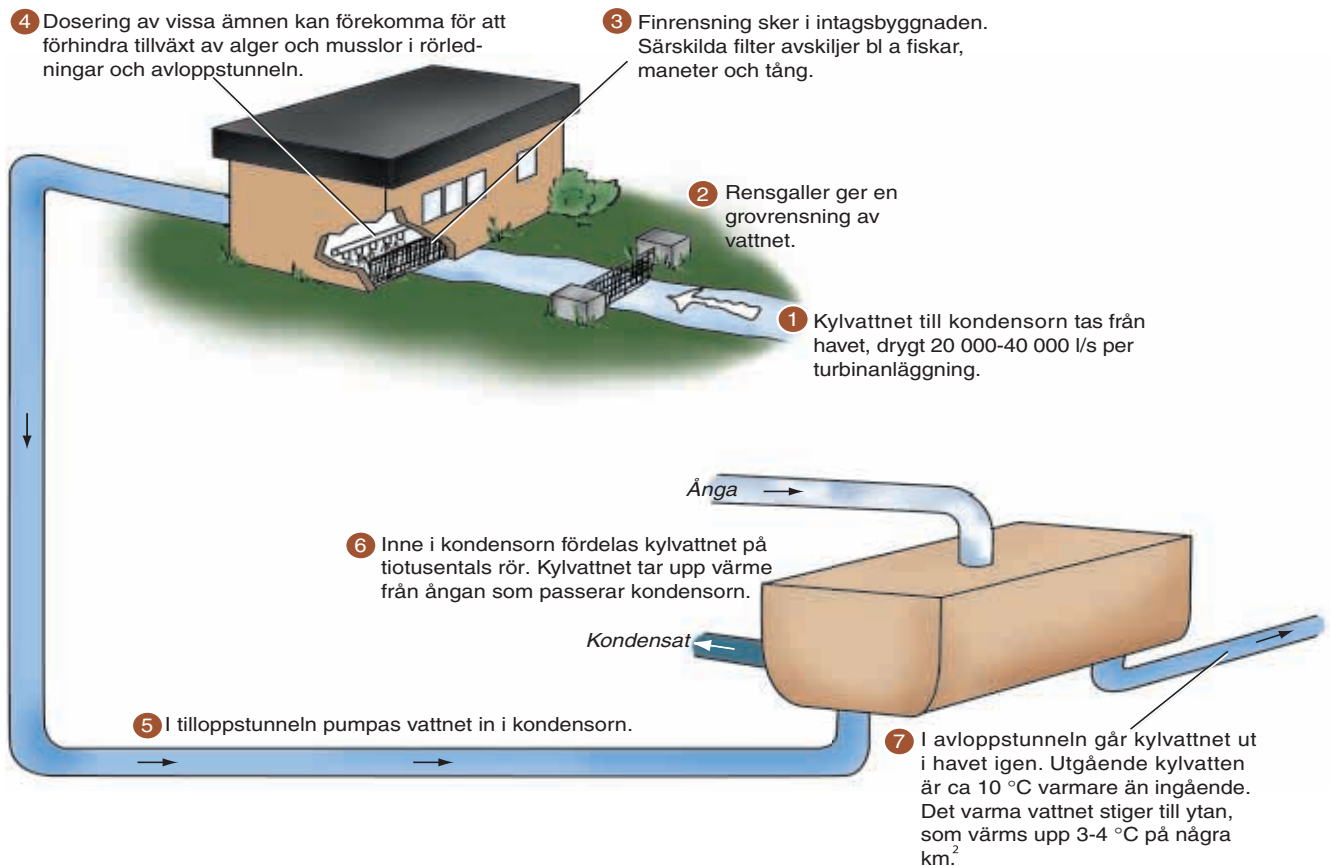
Turbinkondensator, sedd uppifrån



Turbinkondensator, sedd framifrån



Vad händer med kondensorkylvattnet?





Kärnkraftsäkerhet
och Utbildning AB

Vi arbetar med säkerhetsfrågor, utbildning av driftpersonal och träning i simulatorer. Vi samlar också in och utvärderar information om driften vid svenska och utländska kärnkraftverk.

info@ksu.se

www.ksu.se