



# Så fungerar en **Tryckvattenreaktor**

# 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 skiftledning 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 Kärnkraftinspektion (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

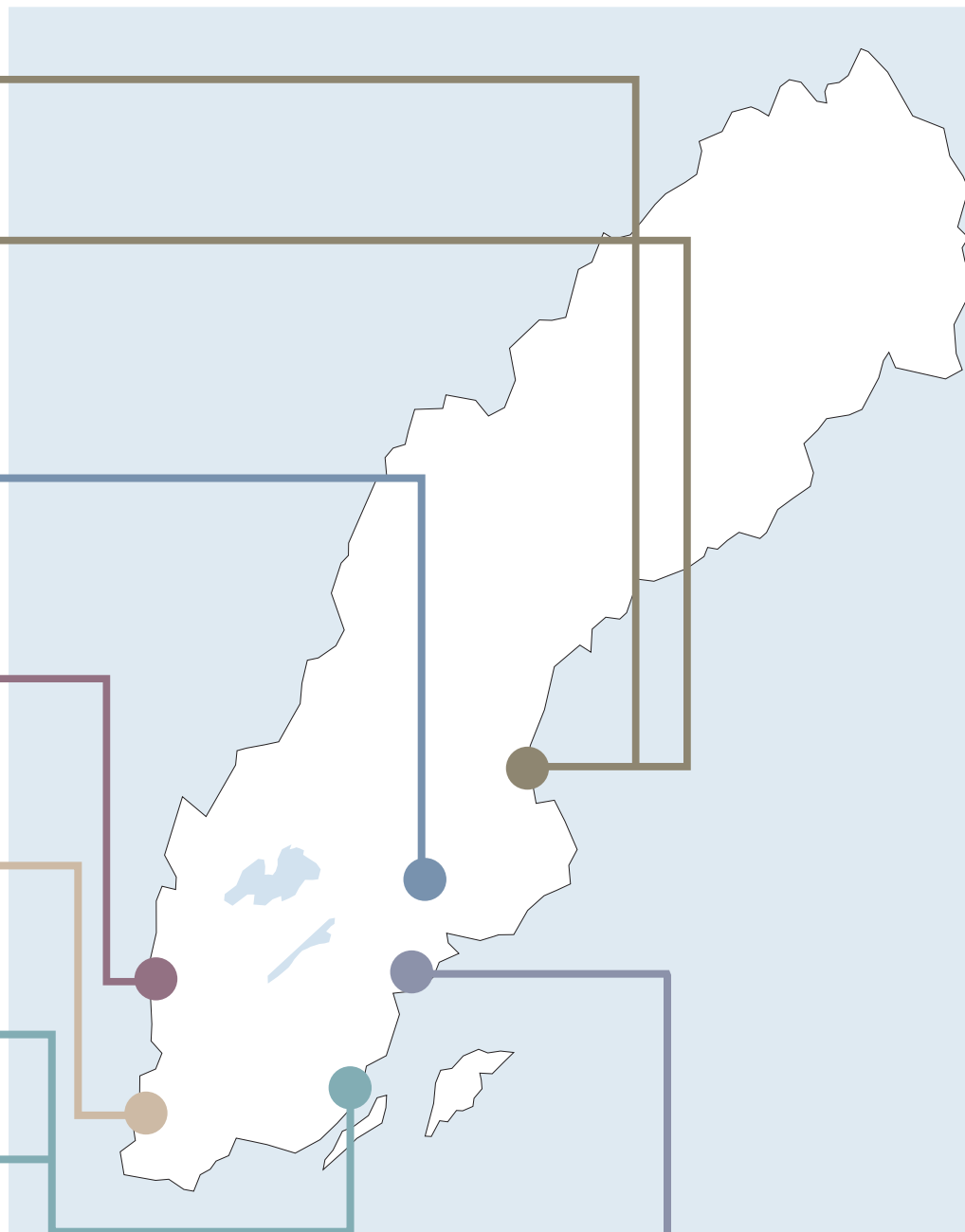
#### Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB

#### Utbildningscentrum

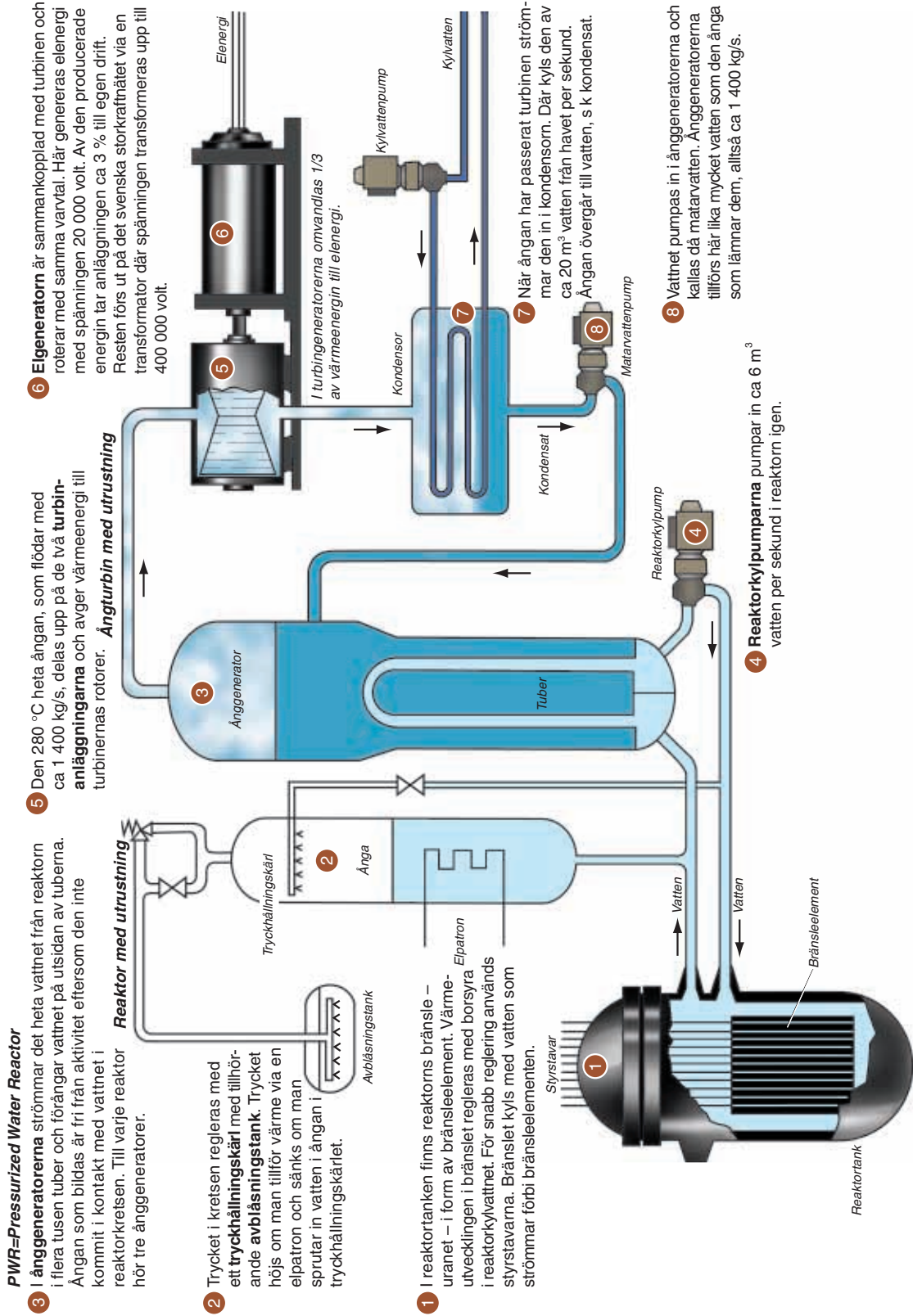
Kärnkraftverken driver genom KSU AB en gemensam skola för kontrollrumspersonal. Utbildning och träning i simulatorer. Huvudkontoret är placerat i Studsvik, med lokalkontor i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals.

### Studsvik AB

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



# Hur fungerar en tryckvattenreaktor?



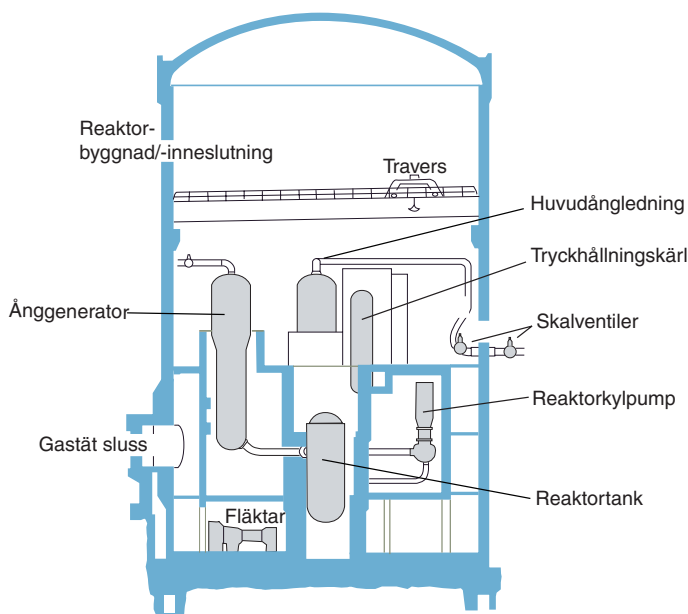
# Vad finns i reaktorbyggnaden?

## Reaktorbyggnad = reaktorinneslutning

I en tryckvattenanläggning är reaktorbyggnad och reaktorinneslutning samma sak: en gastät byggnad av stålplåt och betong som omsluter reaktortanken och hela primärkretsen.

Inneslutningen för en PWR (Pressurized Water Reactor) är betydligt större än för en BWR (Boiling Water Reactor) – förutom reaktortank och reaktorkylpumpar rymmer den också tryckhållningstank och ånggeneratorer. Den är också fundament för taktraversen, med vilken man bl a lyfter reaktortankloppet.

PWR-inneslutningens storlek gör att den motstår tryckökningar bra. Därför behövs ingen kondensationsbassäng. Inte heller behöver man fylla den med kvävgas – vätgasen som bildas vid ett haveri späds ut så mycket att en explosion är mycket osannolik.

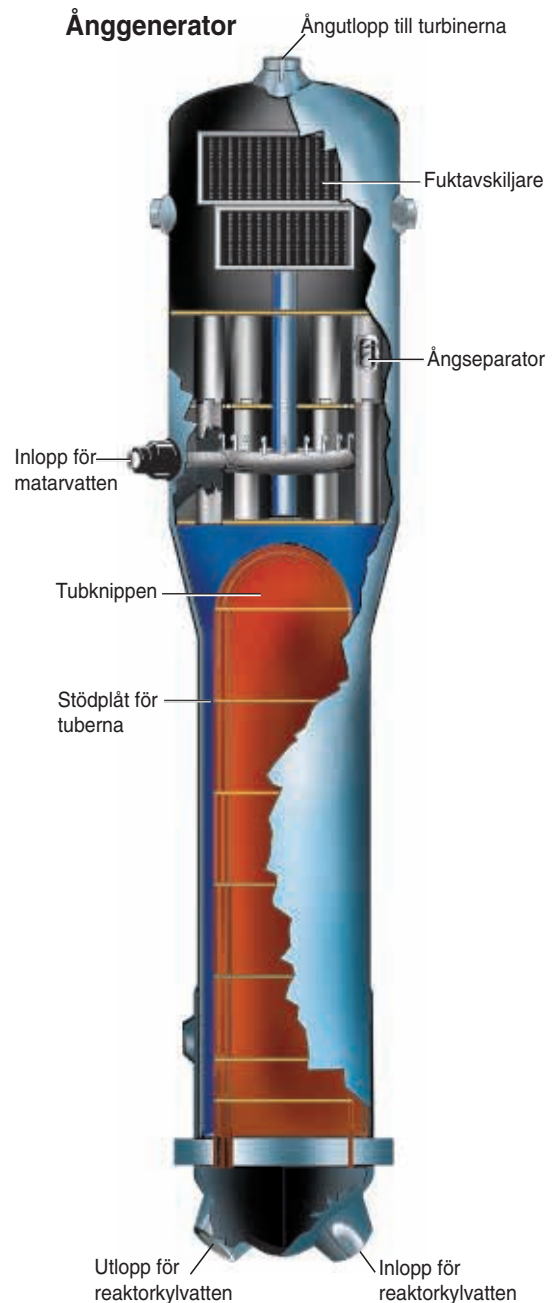


## Skalventiler

Alla ledningar som går genom inneslutningens vägg (skalet) har en inre och en yttre ventil. Med dessa kan man stänga inneslutningen mot omgivningen.

## Reaktorkylkretsar

Tre reaktorkylkretsar är parallellt anslutna till reaktorn. Varje krets har en ånggenerator och en kylpump. Dessutom finns ett gemensamt tryckhållningskärn med avblåsningstank.



## Ånggeneratorer

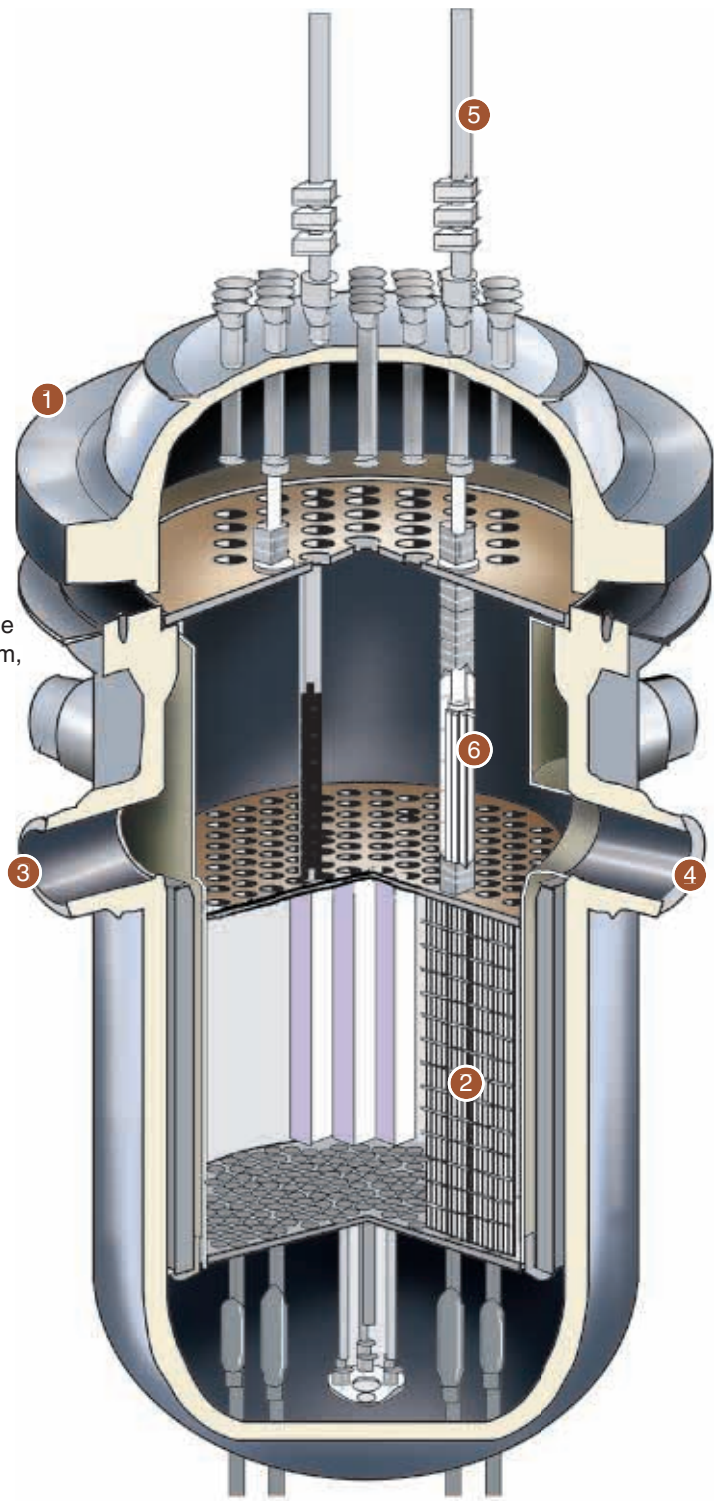
Det varma reaktorvattnet kommer in nära ånggeneratorns botten, passerar genom flera tusen U-formade rör (tuber) och lämnar ånggeneratorn på ungefär samma nivå som inloppet. I matarvattnet från turbinerna bildas ånga som strömmar uppåt på tubernas utsidor. I ånggeneratorns övre del finns ångseparatorer och fuktavskiljare. En ånggenerator är 20 m hög, diameter 4,5 m.



# Vad finns i reaktortanken?

## Tryckvattenreaktor PWR= Pressurized Water Reactor

- 1 I en tryckvattenreaktor är härden mer kompakt och reaktortrycket högre än i en kokvattenreaktor. Eftersom vattnet inte kokar i reaktorn behövs ingen utrustning för att skilja av ånga i tanken. En tryckvattenreaktortank är därför lägre och har mindre diameter och tjockare vägg än motsvarande kokvattenreaktortank. Höjden är 13 m, bredden 4 m, väggen 20 cm.
- 2 Bränsleelement, ca 160 stycken.
- 3 Inlopp för reaktorkylvatten, tre stycken.
- 4 Utlopp för reaktorkylvatten, tre stycken. Vattnets temperatur är ca 320 °C.
- 5 Styrstavsdryvdon.
- 6 Styrstavar, ca 50 stycken.



# 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.

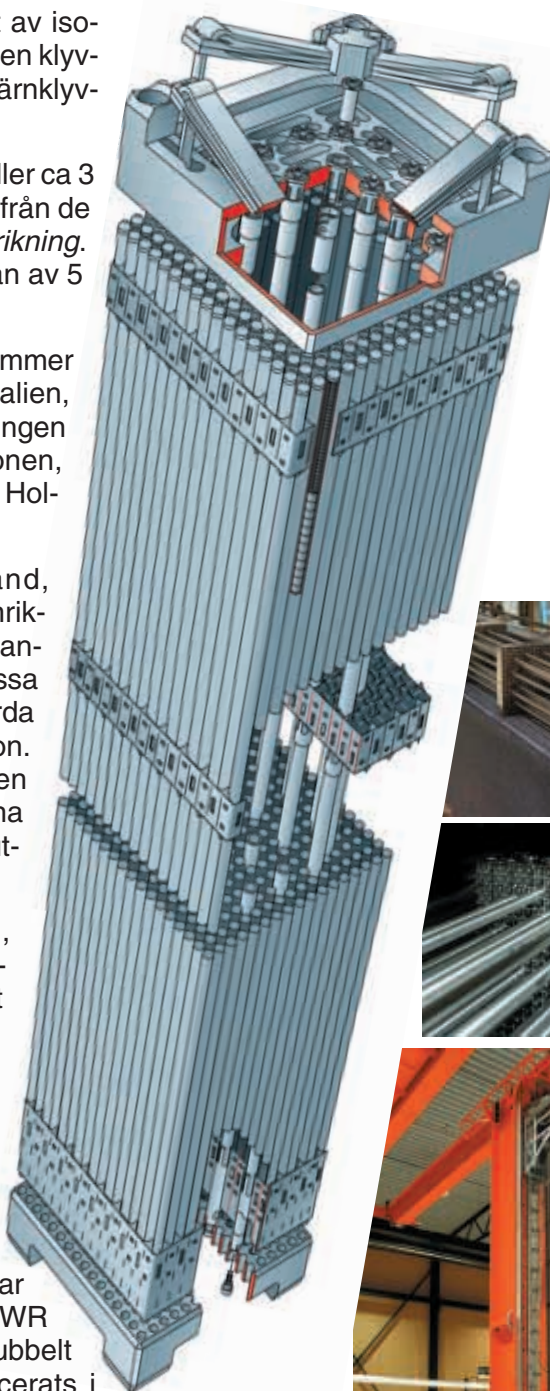
I bränslefabriker i USA, Västtyskland, Frankrike och Sverige omvandlas det anrikade uranet till uranpulver, i form av urandioxid, och pressas till små cylindrar. Dessa skutsar hettas upp så att de blir hårda (sintring) och kan slipas till rätt dimension. De fylls sedan i rör av metallegeringen zirkaloy,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

Stavarna monteras ihop till knippen, *bränsle-element*. 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	97 %	95,0 %
Uran-235	3 %	0,8 %
Plutonium	-	0,6 %
Klyvningsprodukter	-	2,9 %
Övrigt	-	0,7 %

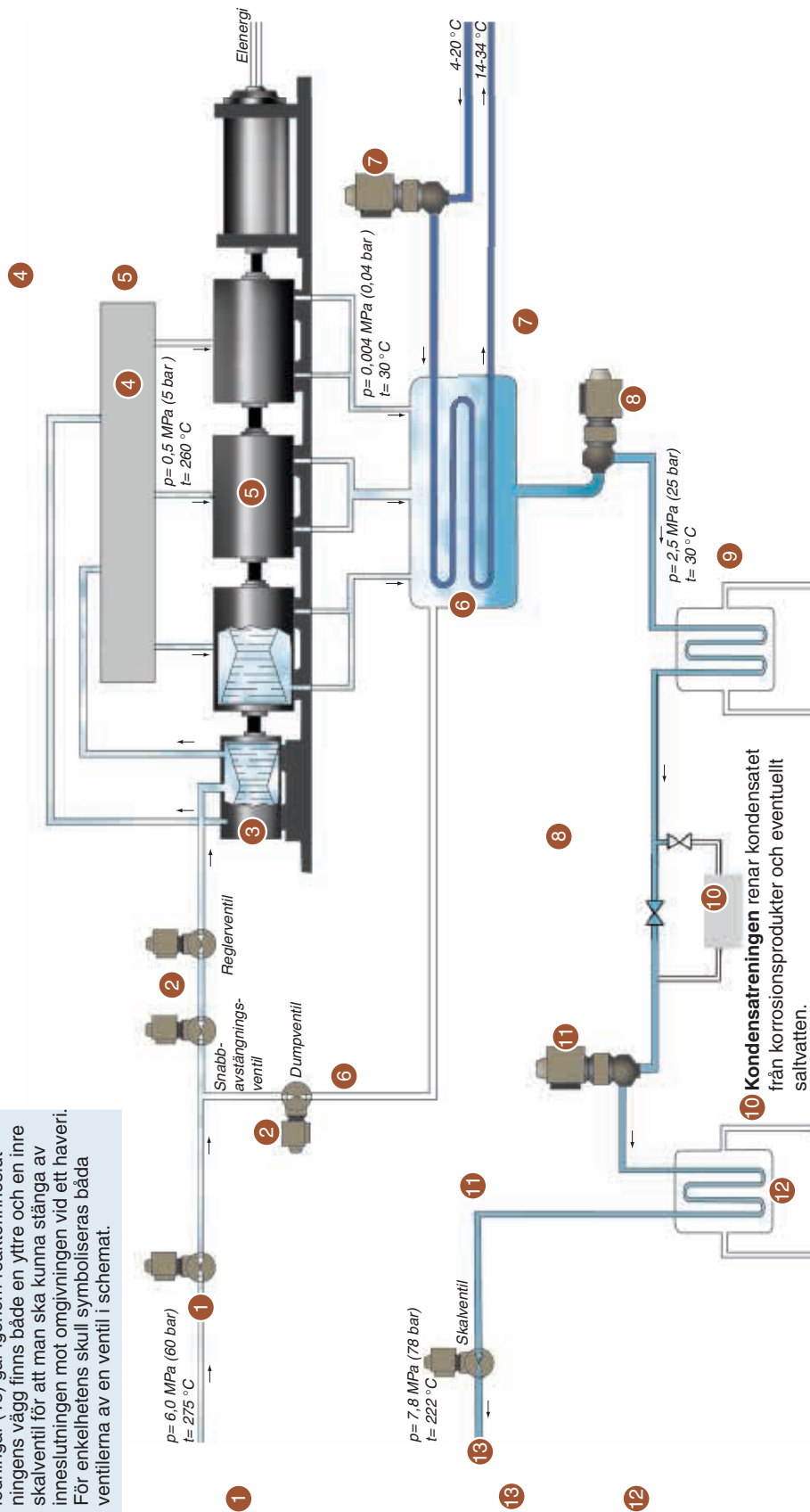


Tillverkning av reaktorbränsle vid bränslefabriken i Västerås.

# Mer om ång- och matarvattensystemen

Ångans respektive matarvattnets tryck ( $p$ ) och temperatur ( $t$ ) är angivna på några ställen. Data avser Ringhals 3 och 4. Där huvudångledning (1) och matarvattenledning (13) går igenom reaktorinneslutningens vägg finns både en yttre och en inre skaiventil (11) för att man ska kunna stänga av inneslutningen mot omgivningen vid ett haveri. För enkelhetens skull symboliseras båda ventilierna av en ventil i schemat.

2 Vid start och avställning av reaktorn "dumps" ångan direkt till kondensorn via **dumpventilerna**.





# Mer om turbinanläggningen



*Turbinhall - tryckvattenreaktor i Ringhals.*

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

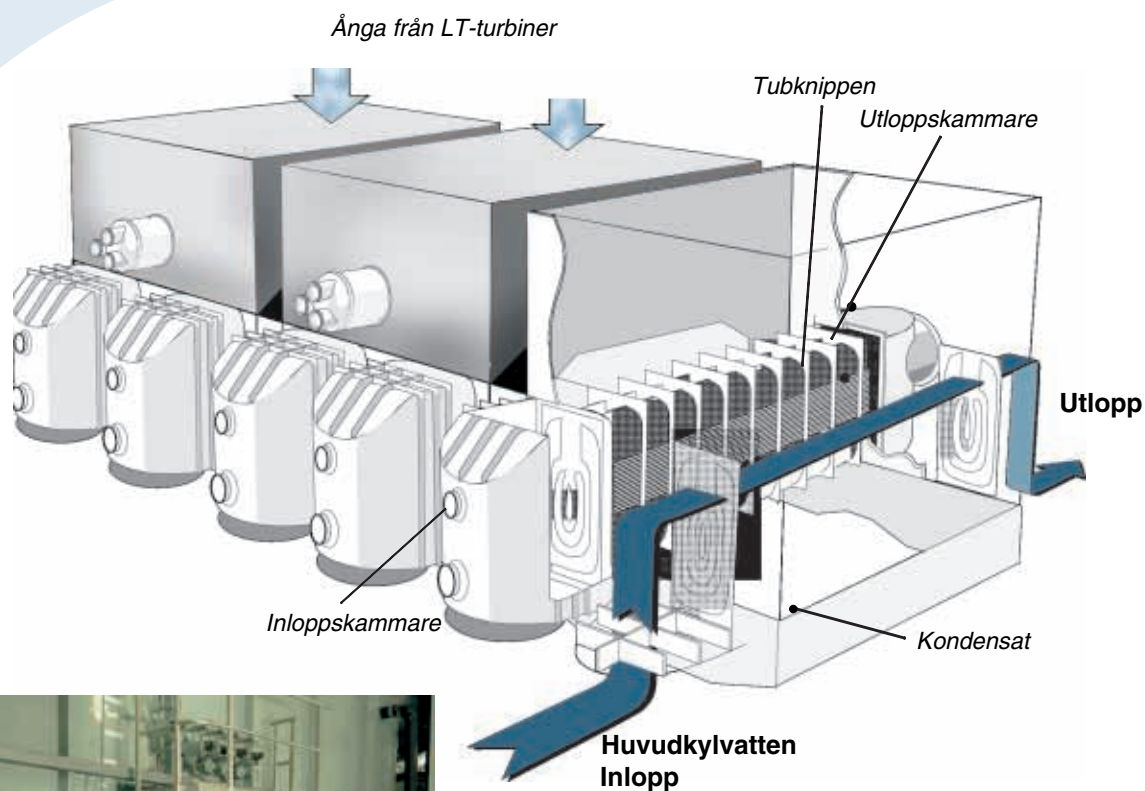
skulle man få vätskedroppar i ångan, vilket kan skada turbinskovlarna. Därför är turbinen delad en högtrycksdel och en lågtrycksdel.

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.

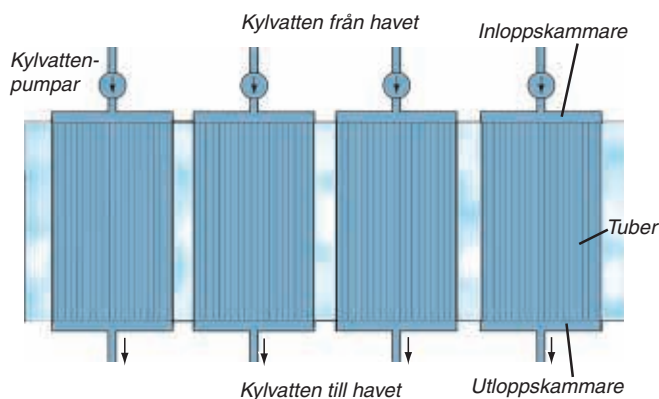
# Mer om kondensorn



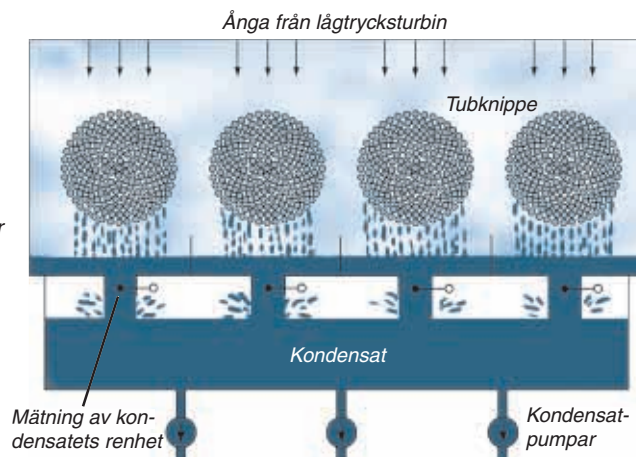
Kondensorn, som är placerad under lågtrycksturbinerna, är i princip en stor värmeväxlare. Den innehåller 30 000-60 000 rör, som genomströmmas av havsvatten.

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

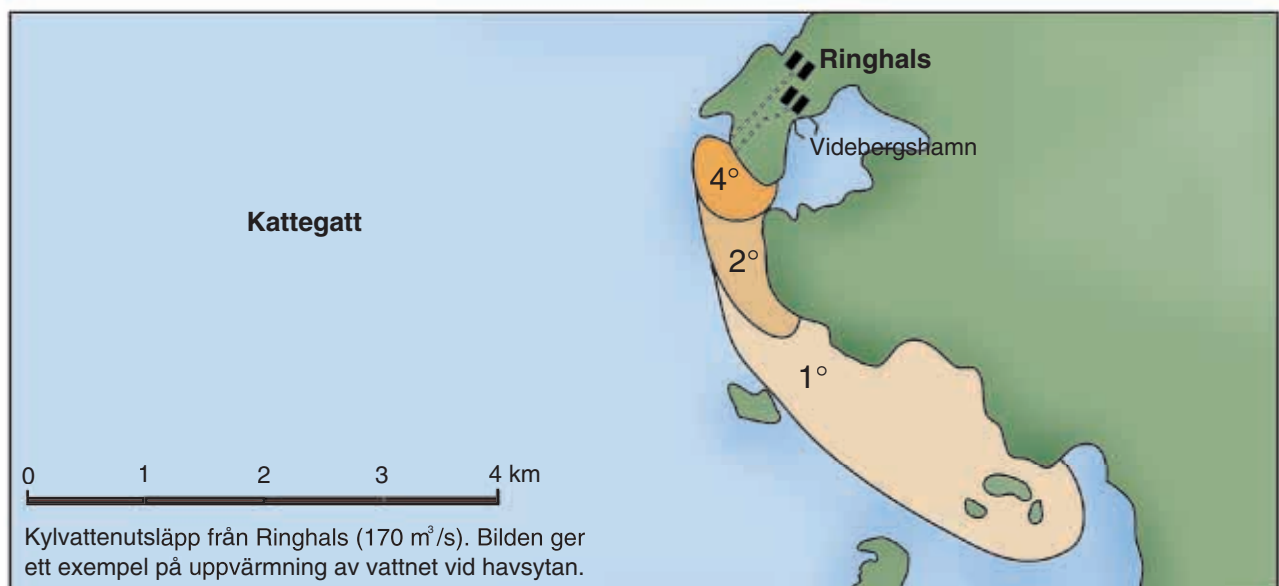
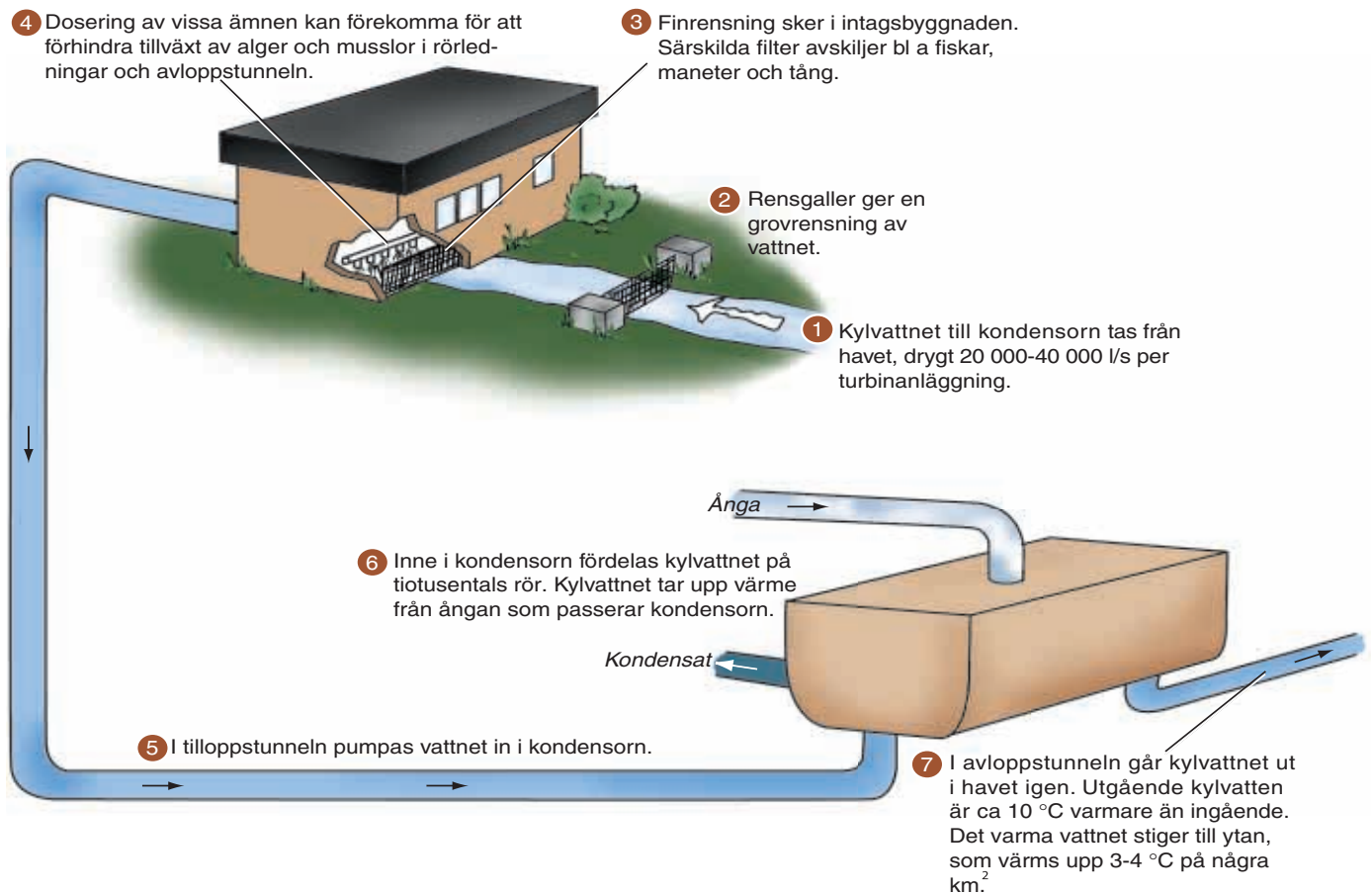
Turbinkondensorn, sedd uppifrån



Turbinkondensorn, 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](mailto:info@ksu.se)  
[www.ksu.se](http://www.ksu.se)