



KSO Utbildning

Introduktion till kärnkraft / Reaktorsäkerhet och djupförsvär

2023-03-29

Rikard Lindström, Avdelningschef Säkerhet, Kvalitet & Miljö

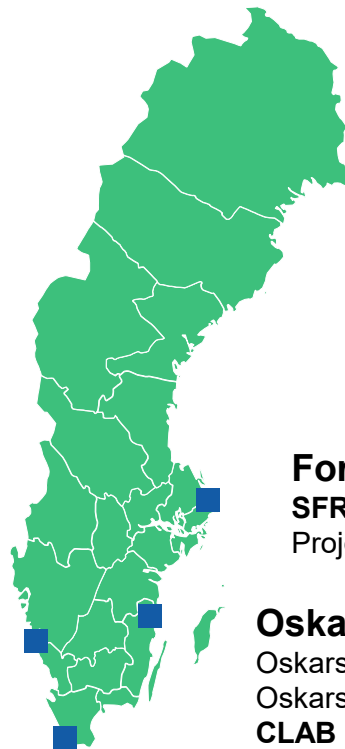
Kärnkraft i Sverige

Ringhals 1, 2, 3 och 4

Ringhals 2 stoppad under 2019
Ringhals 1 stoppad under 2020

Barsebäck 1 och 2

Barsebäck 1 stoppad 30 nov 1999
Barsebäck 2 stoppad 31 maj 2005



Forsmark 1, 2 och 3

SFR Slutförvar för radioaktivt driftavfall
Projektering av kärnbränsleförvaret pågår

Oskarshamn 1, 2 och 3

Oskarshamn 1 stoppad 17 juni 2017
Oskarshamn 2 stoppad 2015
CLAB Centralt mellanlager för använt bränsle

Ringhals 2022

Nettoproduktion: 13 972 GWh
8 % av elproduktionen i Sverige

Driftstart: 1981
Stoppas: 2041

1983
2043

1976
2020

1975
2019

1 074 MW

1 130 MW

—

—

8,152 GWh

5,820 GWh

—

—

87,7 %

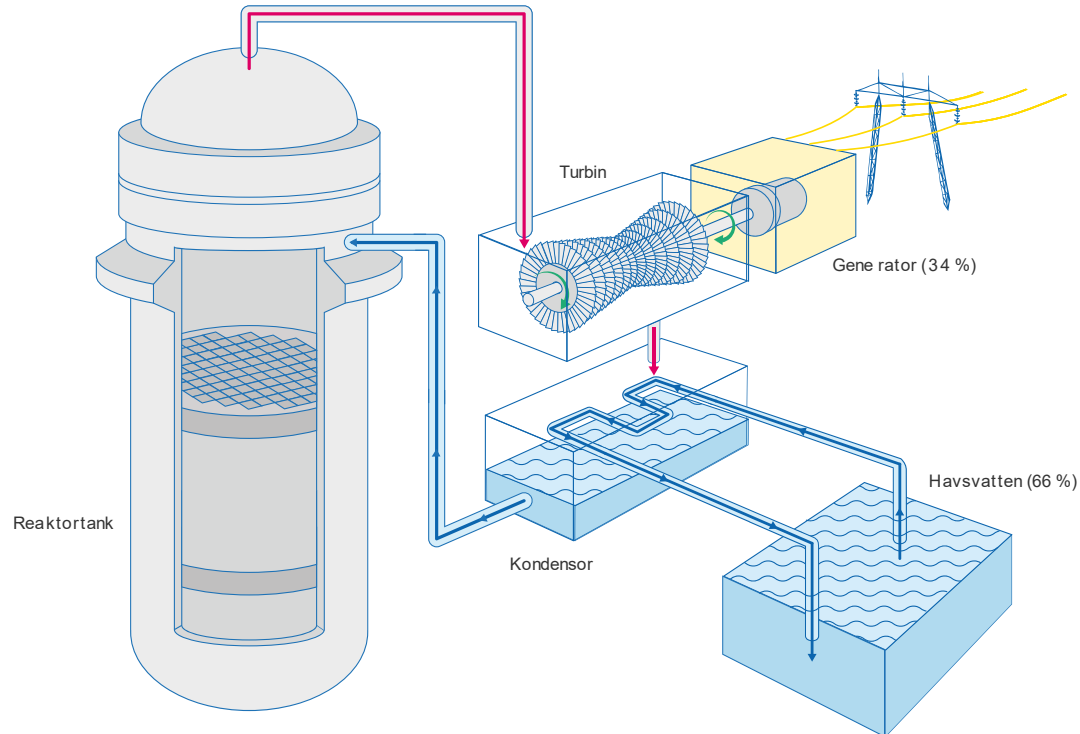
60,5 %

—

—

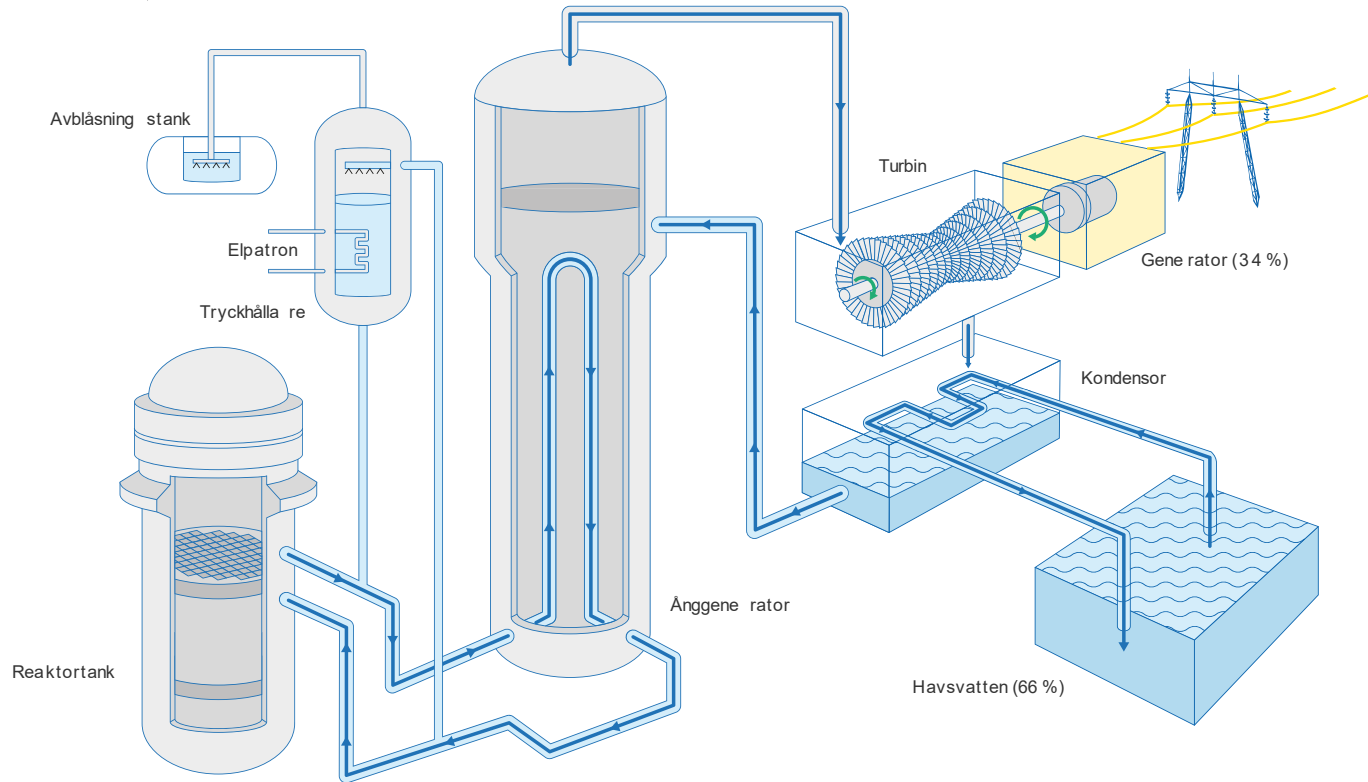
Kokvattenreaktor (BWR)

Ringhals 1, Forsmark & Oskarshamn

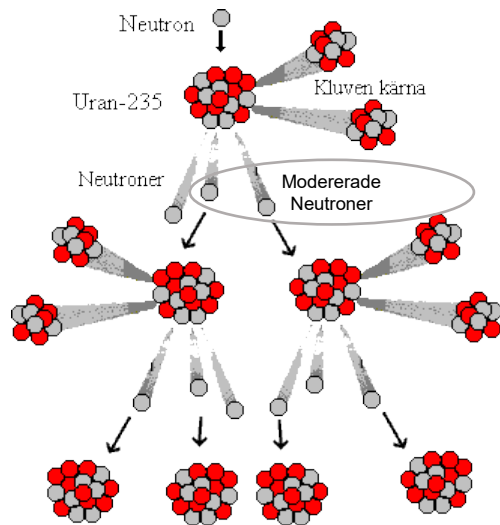


Tryckvattenreaktor (PWR)

Ringhals 2, 3 & 4



Kärnklyvning och kedjereaktion



Neutronerna som frigörs har för hög energi för att klyva nya urankärnor

- Neutronerna måste bromsas eller "modereras" för att reaktionen skall hållas vid liv, detta görs med vattenmolekyler

Neutroner fångas också in av andra material än uran

- Lagom antal måste finnas kvar för att reaktionen skall hållas vid liv
- Bor i styrstavar eller reaktorvattnet är ett mycket effektivt sätt att fånga neutroner och stoppa kedjereaktionen

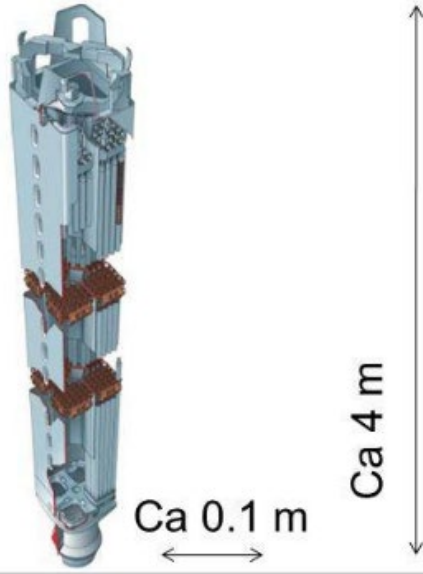
I Svenska reaktorer finns en bromsande effekt vid ökat effektuttag - viss självreglering

- Vid för hög effekt stryps kedjereaktionen
- I en atombomb finns inte denna självreglering utan kedjereaktionen fortlöper och accelererar mycket snabbt

Kärnbränsle och styrstavar

BWR-bränsle

Ca 100 stavar



PWR-bränsle

Ca 300 stavar

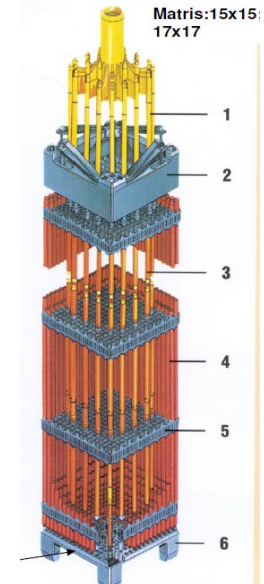


Styrstavar reglerar samt "nödstoppar"

BWR

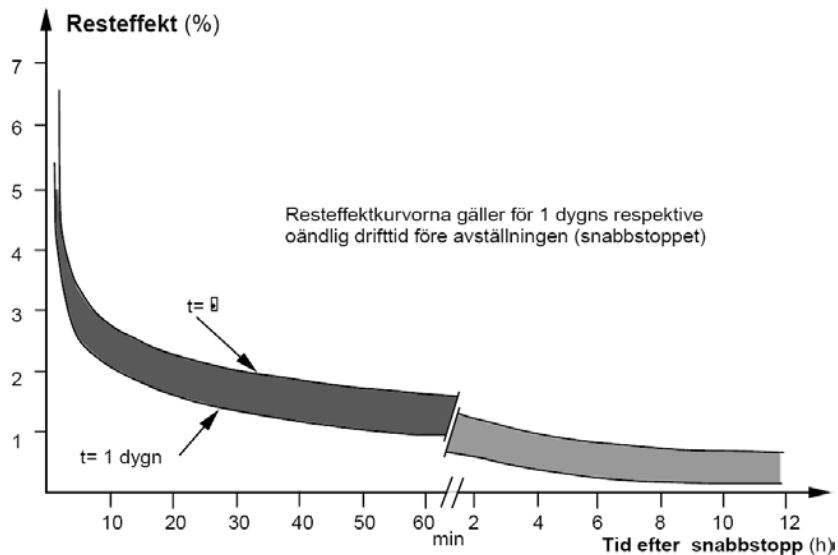


PWR



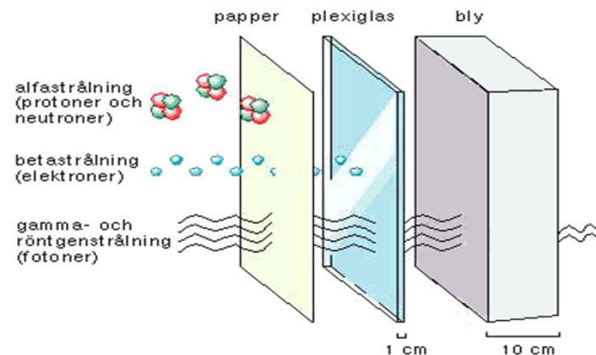
Vad är riskerna med kärnkraft?

Värme



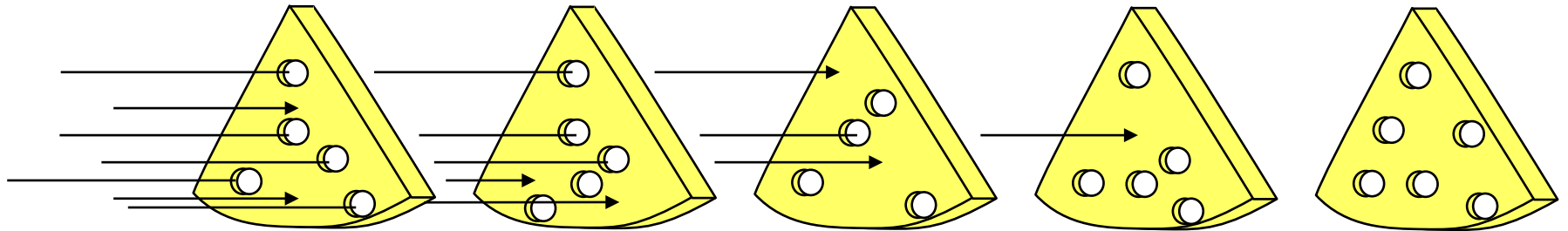
Strålning

Strålnings räckvidd



Därför finns ett barriärtänk

Ex.	Rapport	Sakgranskning	Säkerhetsgranskning	Överprövning	Myndighetsgranskning
Ex.	Leverantörskontroll	Mottagningskontroll	Montage	Komponentkontroll	Systemkontroll

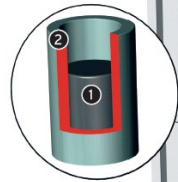


Ett antal "barriärer" som alla troligen har någon brist men sammantaget ger en hög säkerhet

Anläggningarnas fysiska barriärer

1. Bränslet

Bränslet har en keramisk form, vilket gör det svårslött i både luft och vatten.



2. Bränslerör

För av speciell metall (zirkaloy) som liknar rostfritt stål.

3. Reaktortank

Tillverkad av 15-20 cm tjockt stål.

4. Reaktorinneslutningen

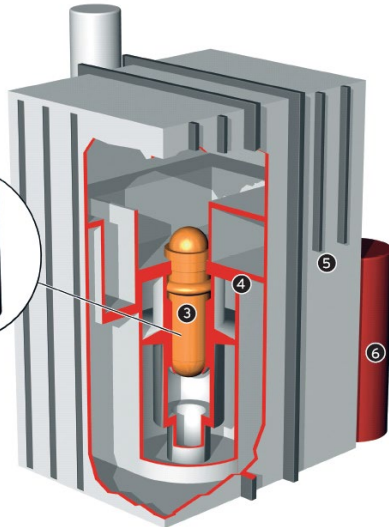
Meter tjock betong med ingjuten, gas-tät stålplåt.

5. Reaktorbyggnaden

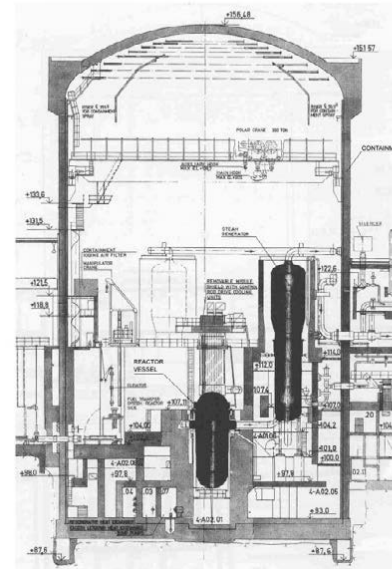
Reaktorbyggnaden omger reaktortank och reaktorinneslutning.

6. Säkerhetsfilter

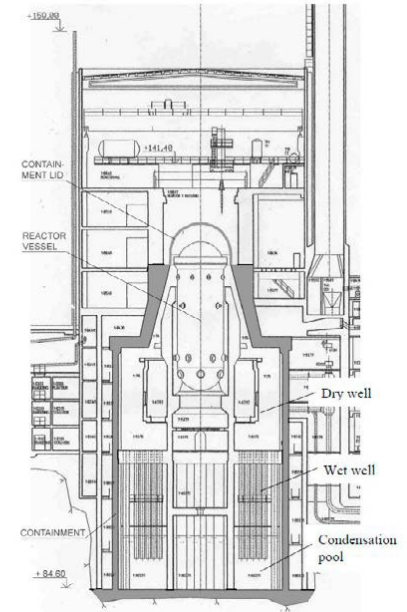
Det finns särskilda filter som tar hand om minst 99,9 % av de radioaktiva ämnena.



PWR



BWR



Säkerhetsfunktioner – skyddar barriärer

- **Reaktivitetskontroll ”Reaktorsnabbstopp”**
 - För att snabbt stoppa kedjereaktionen: Styrstavsinskjutning och Borinsprutning
- **Härtnödkylning ”ECCS”**
 - Tillse att härden är kyld: Vatteninsprutning in i reaktorn
- **Primärsystemets integritet**
 - Tryckavsäkring av reaktorn: Vid händelser sker en temperatur- och tryckökning
- **Inneslutningsfunktion**
 - Tillse att reaktorinneslutningen är tillsluten: Skalventilstängning
 - Vid höga tryck tillse trycknedtagning: Inneslutningssprinkling
- **Resteffektbortförel**
 - Värmebortförel från primärsystemet och inneslutningen: kylkedjor till havet alternativt friblåsning av ren ånga från ånggeneratorer (endast PWR)

Säkerhetsanalyser – inom designkrav

- **DSA - Deterministisk säkerhetsanalys**

- Inledande händelser på känsliga delar antas (rörbrott, pumpstopp, elbortfall, brand, etc)
- Fel ansätts sedan på mest kritiskt system/komponent (Enkelfel)
- Operatörer ges tidsfrist på normalt minst 30 min (Rådrum)
- Anläggningen skall klara händelsen inom utsläppskrav (Frekvensberoende)



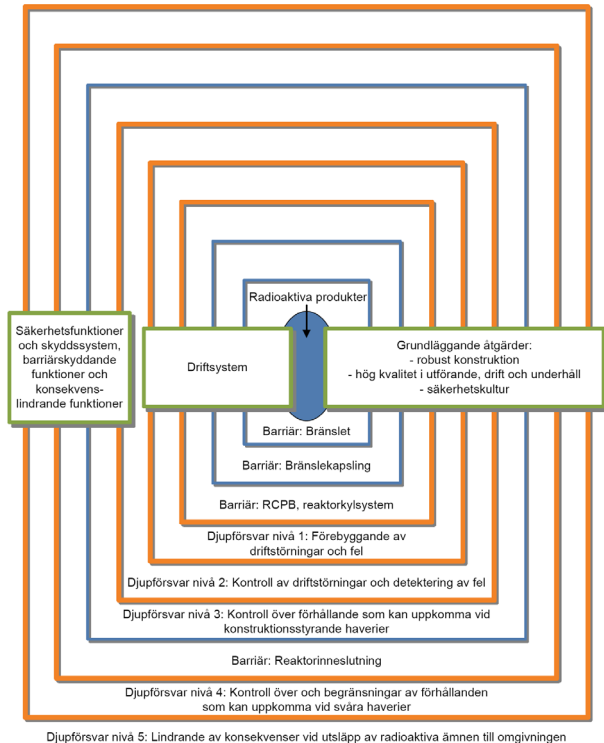
- **PSA - Probabilistisk säkerhetsanalys (Sannolikhetsbaserad)**

- Anläggningen moduleras utifrån utformning samt felstatistik för system och komponenter
- Fel ansätts på komponent (rörbrott, pumpstopp, elbortfall, brand etc)
- Allt övrigt förutsätts fungera i enlighet med felstatistiken
- Beräknar sannolikheten för skadat bränsle och omgivningskonsekvenser, dvs. riskbidraget

- **Beskrivs i anläggningens Säkerhetsredovisning (SAR)**

- SäkerhetsTekniska driftFörutsättningar (STF) anger kravställningar för system och komponenter för att DSA skall innehållas
- Avsteg resulterar i Rapportervärd Omständighet (RO)

Barriärer och Djupförsvär i praktiken



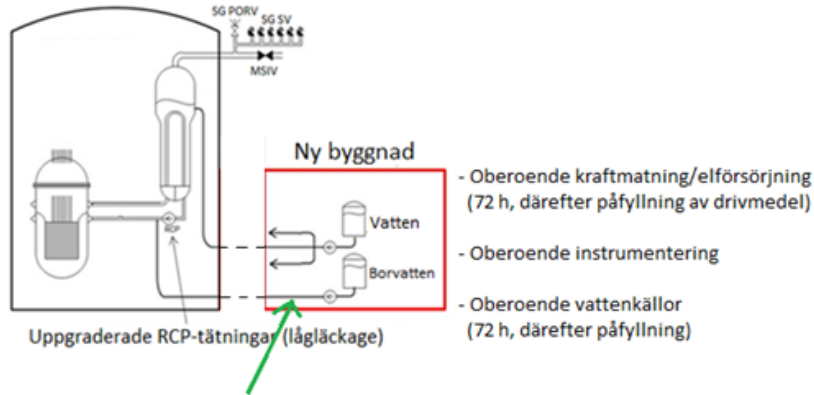
Djupförsvär

System för att skydda barriärerna

1. Robust konstruktion och kompetent personal
2. Övervakningssystem och instruktioner
3. Säkerhetssystem och störningsinstruktioner
4. Konsekvenslindrande system för utsläpp samt förberedd haveriorg.
5. Samhällets förberedelser för skydd av och information till befolkningen

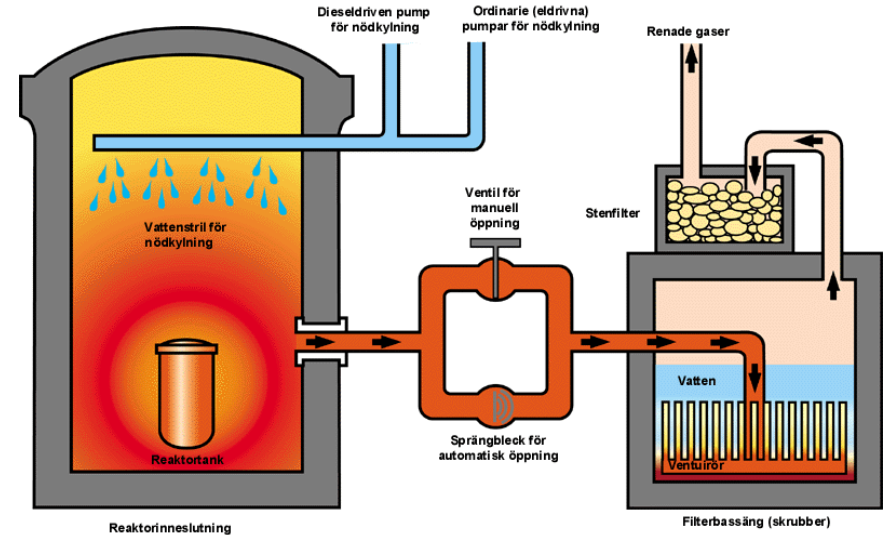
Konsekvenslindrande system

Oberoende Härdkyllning (OBH)

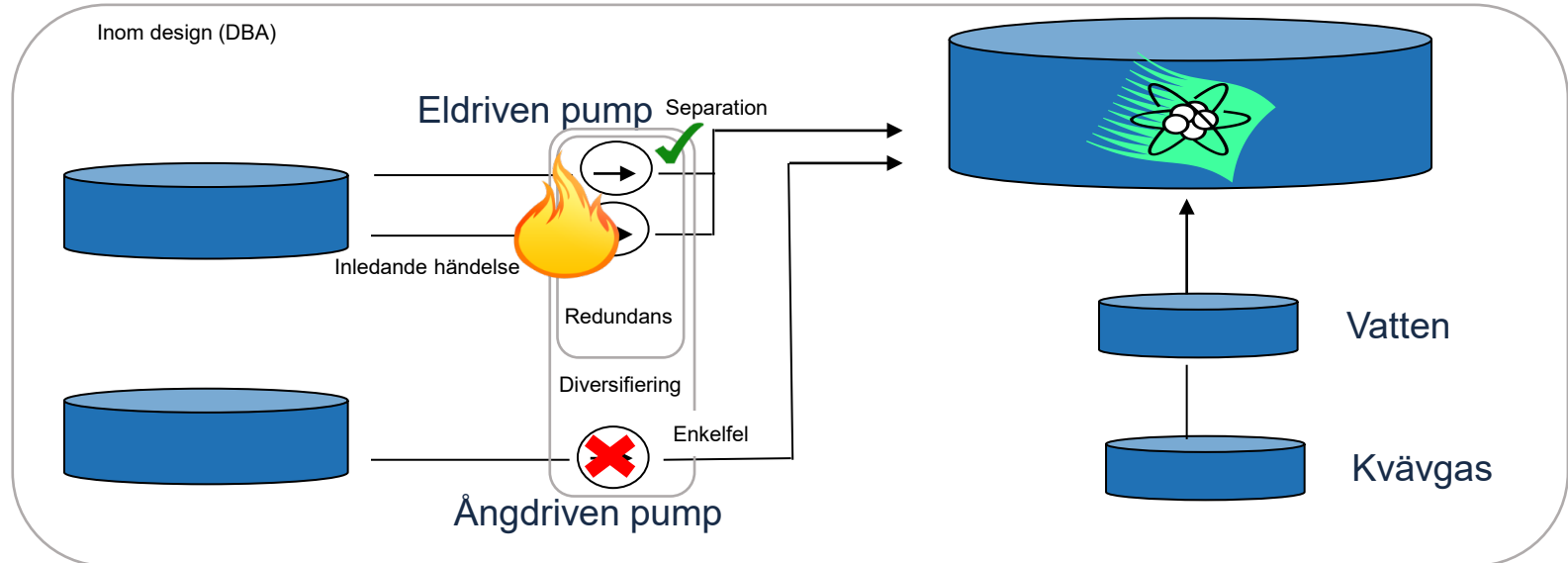
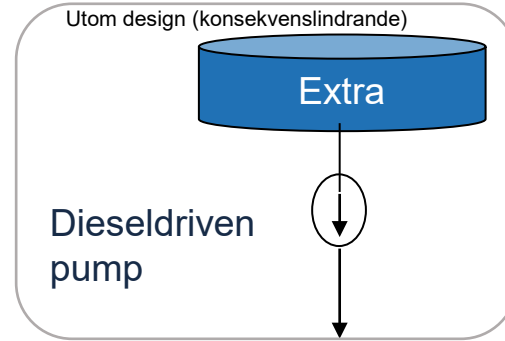


- säkerställa avstängd reaktor vid nedkylning
- kompensera för eventuella läckage från RCS
- kunna kyla härden då primärsystemet har öppnats inför bränslebyte

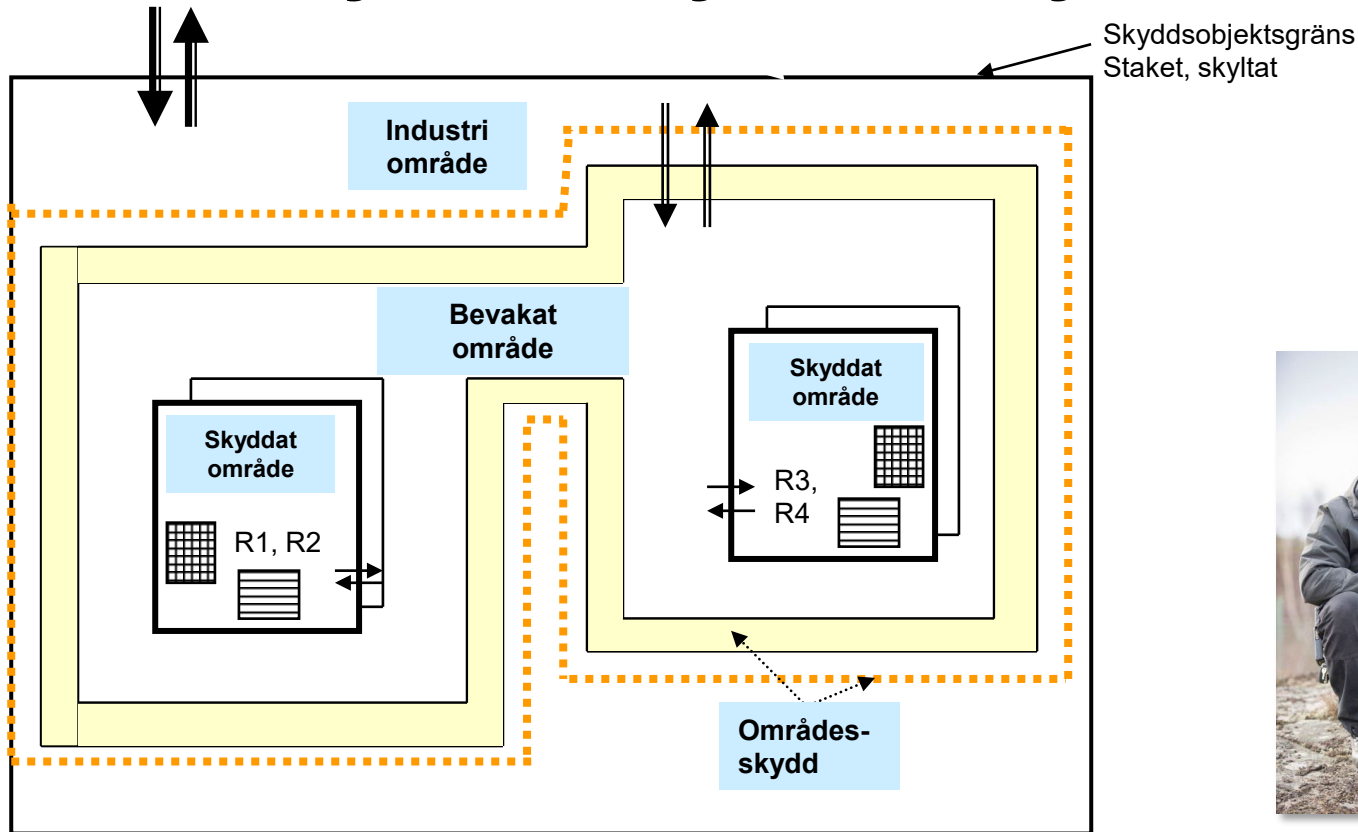
”Säkerhetsfilter” (PMR)



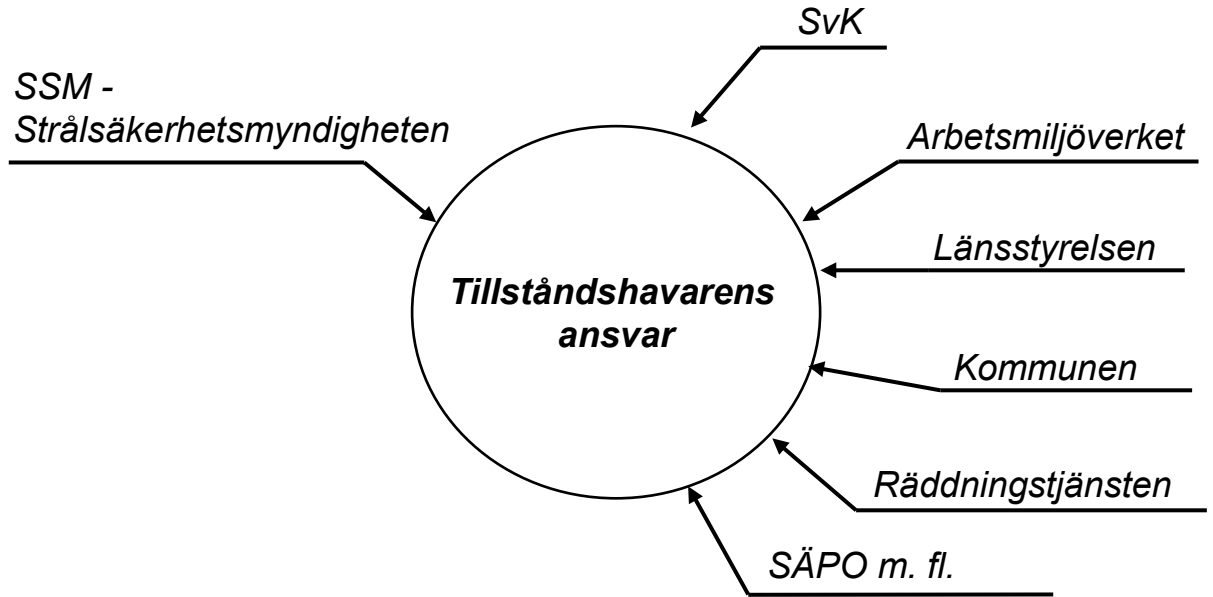
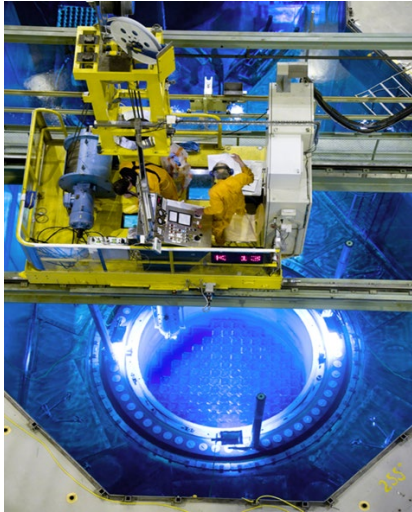
Flersystemsprincipen



Tillträdesskyddet "Fysiskt skydd"



Säkerhetsansvar



Vad finns det att förhålla sig till

- 1. Svenska lagar avseende kärnteknisk verksamhet**
Kärntekniklagen – Strålskyddslagen – Säkerhetsskyddslagen m.fl.
- 2. Föreskrifter från myndigheter, framförallt SSM**
- 3. Krav ställda i ”säkerhetsredovisningen” för aktuell reaktor**
Grunden är amerikanska lagar och standarder
- 4. Riktlinjer från andra organ inom branschen**

Kärntekniklagen (KTL)

4 § Säkerheten vid kärnteknisk verksamhet ska upprätthållas genom att de åtgärder vidtas som krävs för att

1. Förebygga fel i utrustning, felaktig funktion hos utrustning, felaktigt handlande, sabotage eller annat som kan leda till en radiologisk nödsituation samt begränsa och fördröja utsläpp av radioaktiva ämnen om en nödsituation ändå inträffar
4. Förhindra olovlig befattning med kärnämne eller kärnavfall. Lag (2017:575).

10 § Allmänna skyldigheter för tillståndshavare

- 2 Vidta de åtgärder som anges i 4 § med hänsyn till de förhållanden under vilka verksamheten bedrivs,
- 3 Vidta de åtgärder som behövs för att på ett säkert sätt hantera och slutförvara kärnavfall eller kärnämne som inte används på nytt, om avfallet eller ämnet har uppkommit i verksamheten Med hänsyn till verksamhetens art och de förhållanden under vilka den bedrivs upprätthålla säkerheten

Styrande organ inom kärnkraften

- **SSM – Strålsäkerhetsmyndigheten**
Myndighet i reaktorsäkerhet- och strålskyddsfrågor - utför myndighetstillsyn
- **IAEA – International Atomic Energy Agency**
FN-organ, stödjande i teknik- och säkerhetsfrågor
Kontrollerar hanteringen av kärnämne samt granskar kärnteknisk verksamhet (OSART)
- **WANO, (INPO) – World Association of Nuclear Operators**
Industrins samarbetsorgan. Erfarenhetsåterföring i olika former
Genomför granskningar av varandra (WANO Peer Review)
Bildades som ett resultat av Tjernobyl olyckan
- **WENRA – Western European Nuclear Regulatory Association**
Samarbetsorgan för EU:s säkerhetsmyndigheter
- **NRC – Nuclear Regulatory Commission**
USA:s SSM



Strålsäkerhetsmyndighetens (SSM) föreskrifter

**SSMFS 2018:1
grundläggande krav**

Paraplydokument

SSMFS 2018:3
friklassning

SSMFS 2008:32
kompetens

SSMFS 2008:17
konstruktion

SSMFS 2008:12
fysiskt skydd

SSMFS 2008:13
provning

SSMFS 2008:3
Entreprenörer

Detaljerade
Föreskrifter, de
”allmänna råden”
är vägledande

Omarbetning av föreskriftspaketet pågår och väntas klart **2021**

Uppföljning och utvärdering av säkerheten

- **Dygnsrapportering**

- Bl.a. driftläge, störningar, RO - Rapportervärd Omständighet d.v.s. rapport till SSM om avsteg från krav i STF.

- **Anläggningsbevakning**

- SSM:s inspektörer gör regelbundna besök och bedömer arbetet inom olika områden (ca 2 besök per månad)

- **Årsrapport / Säkerhetsprogram**

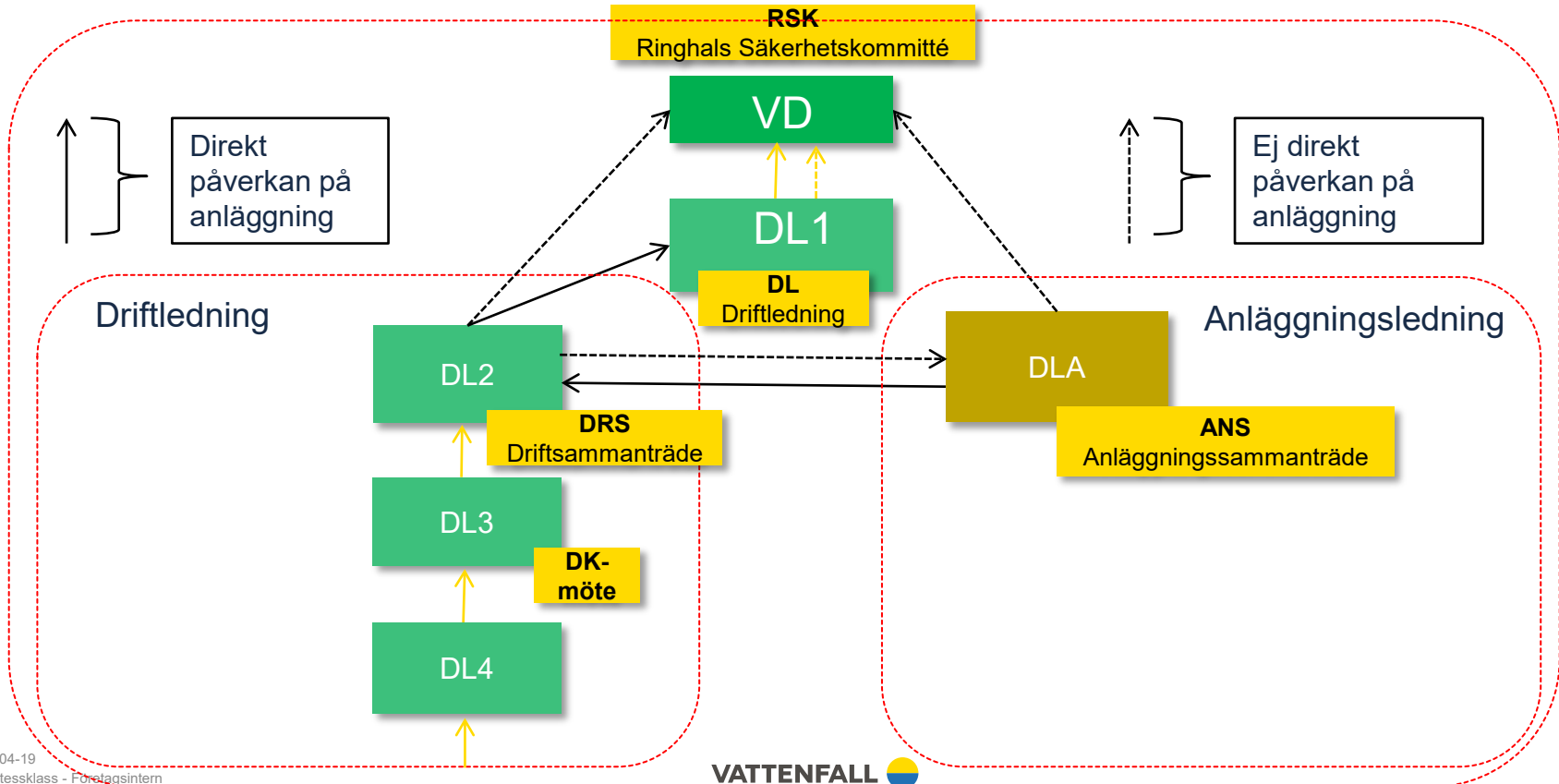
- Omfattande redovisning av det gångna året respektive kort- och långsiktiga säkerhetsåtgärder

- **Periodic Safety Review**

- Större redovisning som sker vart 10:e år med utvärdering samt framåtblick kommande 10 åren



Säkerhetsledning - Ringhals



Grundläggande principer för reaktorsäkerhet

- **Barriärer och djupförsvar:**
 - Inneslut kärnbränslet i flerfaldiga barriärer
 - Skydda barriärerna med system (tekniska och administrativa)

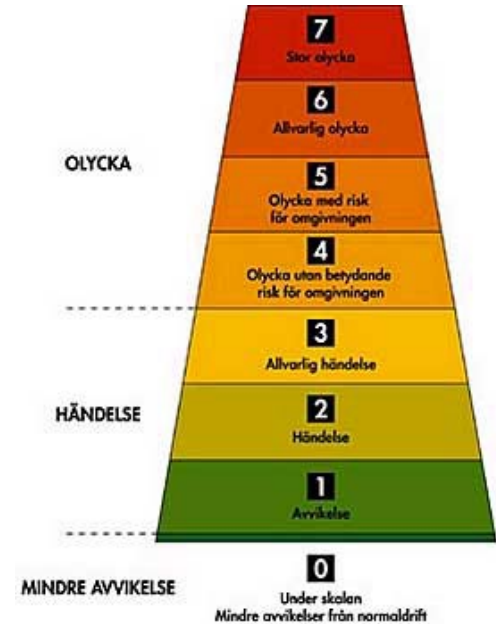
- **Använd ”robusta” lösningar**
 - Systemlösningar skall klara fel ”enkelfel”
 - Operatörer ska ha tid att kunna analysera ”rådrum”
 - Inbyggda väl tilltagna säkerhetsmarginaler

- **Dessa grundprinciper fastställdes redan på 1960-talet**

INES - International Nuclear Event Scale

(liknande Richterskalan)

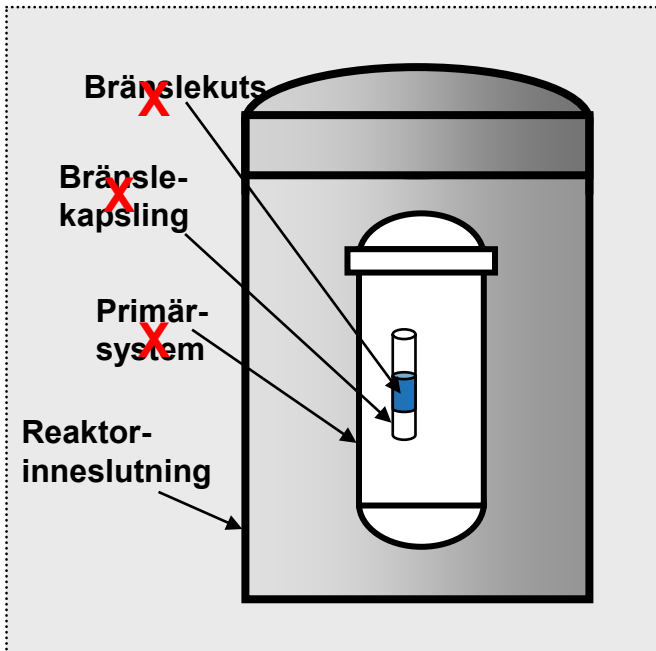
- En händelse på ett kärnkraftverk klassificeras utifrån tre kriterier:
 - Utsläpp av radioaktivitet till omgivning
 - Utsläpp av radioaktivitet i anläggningen
 - Försämring av anläggningens säkerhetssystem
- Nivå 1-3 = händelser/incidenter
Nivå 4-7 = olycka
- Tjernoby = 7
- Fukushima = 7
- Harrisburg = 5



På de svenska kärnkraftverken har det aldrig inträffat händelser över INES 2

Barriärer & Djupförsvär vid Harrisburg

Barriärer



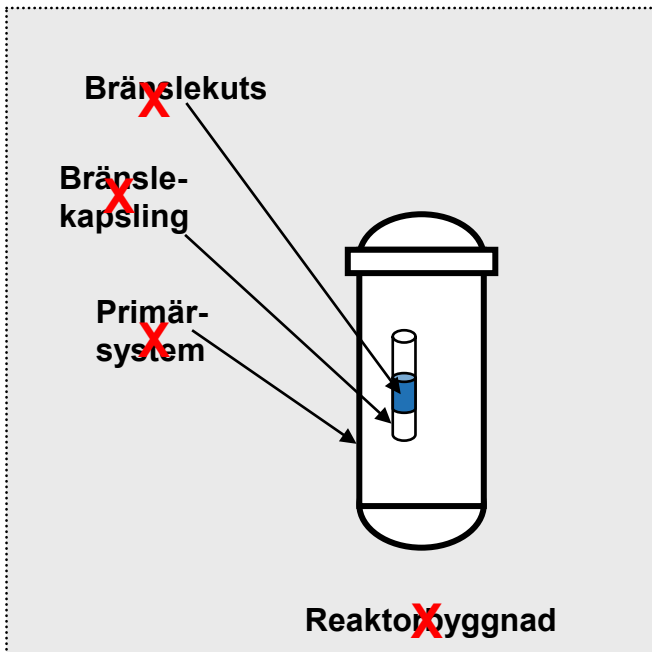
Djupförsvär

System för att skydda barriärerna

- X** Robust konstruktion och kompetent personal
- X** Övervakningssystem och instruktioner
- 3. Säkerhetssystem och störning**X**instruktioner
- X** Förberedd haveriorganisation
- 5. Samhällets förberedelser för skydd av och information till befolkningen

Barriärer & Djupförsvär vid Tjernobyl

Barriärer

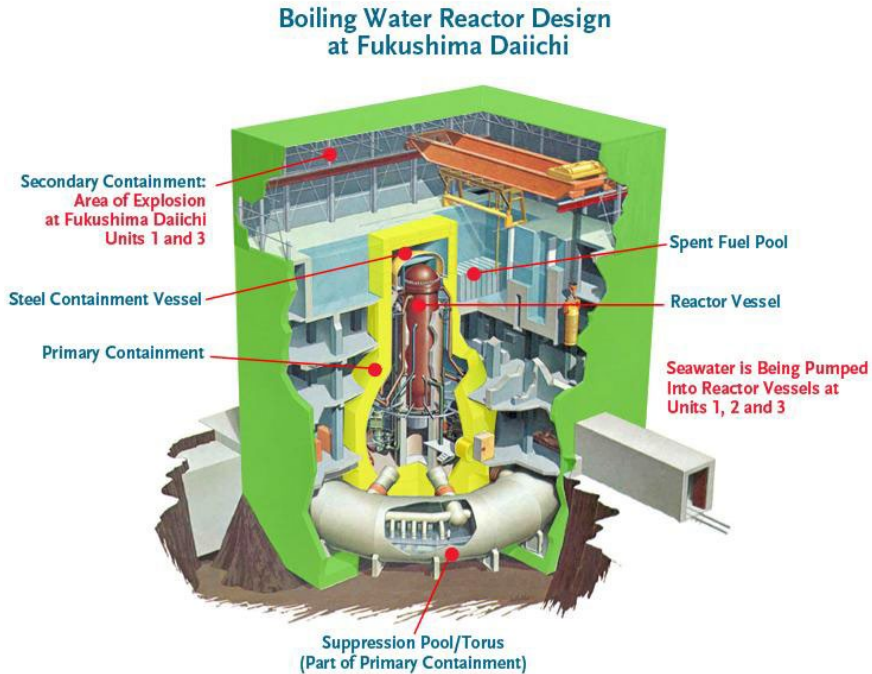


Djupförsvär

System för att skydda barriärerna

- ✘ Robust konstruktion och kompetent personal
- ✘ Övervakningssystem och instruktioner
- ✘ Säkerhetssystem och störningsinstruktioner

Barriärer & Djupförsvär vid Fukushima



Djupförsvär

System för att skydda barriärerna

- X** Robust konstruktion och kompetent personal
- X** Övervakningssystem och instruktioner
- X** Säkerhetssystem och störningsinstruktioner

Säkerhetskultur

”Egenskaper och attityder inom en organisation och hos dess personal”

Vår personal är duktiga & viktiga

- Kunskap
- Konsekvensinsikt
- Egenkontroll
- Vaksamhet
- Lärande
- Ansvarskänsla
- Engagemang
- Handlingskraft
- Självkritisk ödmjukhet
- Ständiga förbättringar



Minimera fel och risker

- Erfarenhetsåterföring (internt och externt)
- Analys av inträffade händelser (grundorsaksanalys)
- Leta latent svagheter (analyser, inspektioner etc)
- God samverkan med tillsynsmyndigheterna



Frågor?