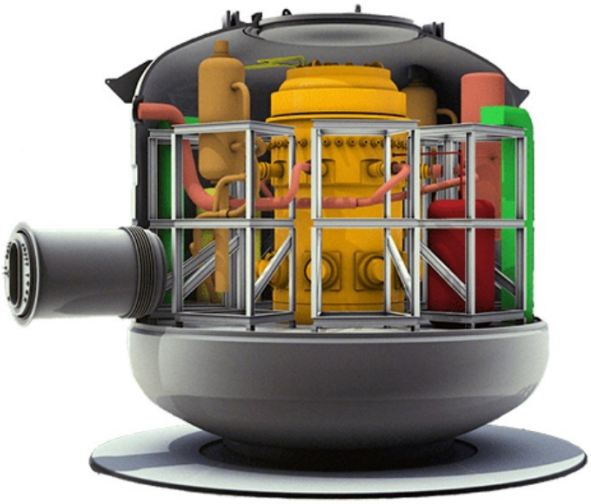
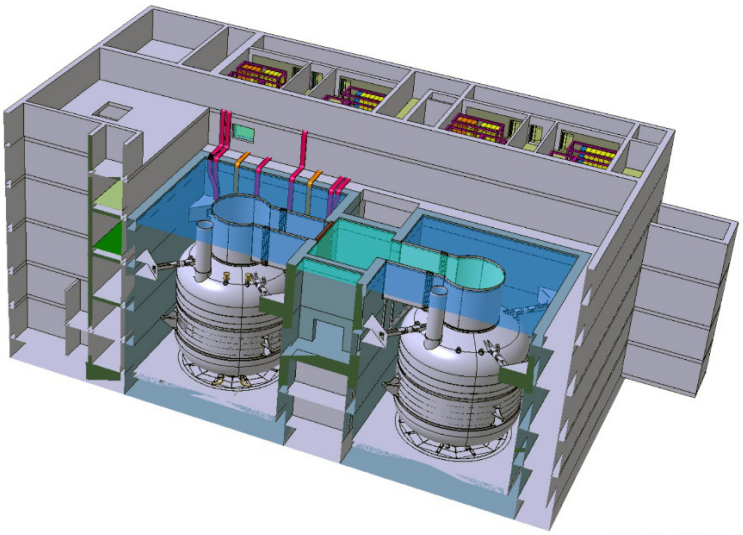
Kärnkraftsreaktorer (Oktober 2022)





Översikten producerad av:
Nils-Olov Jonsson
+46703535935
nils-olov.jonsson@inpoi.se

Innehåll

1 SMR

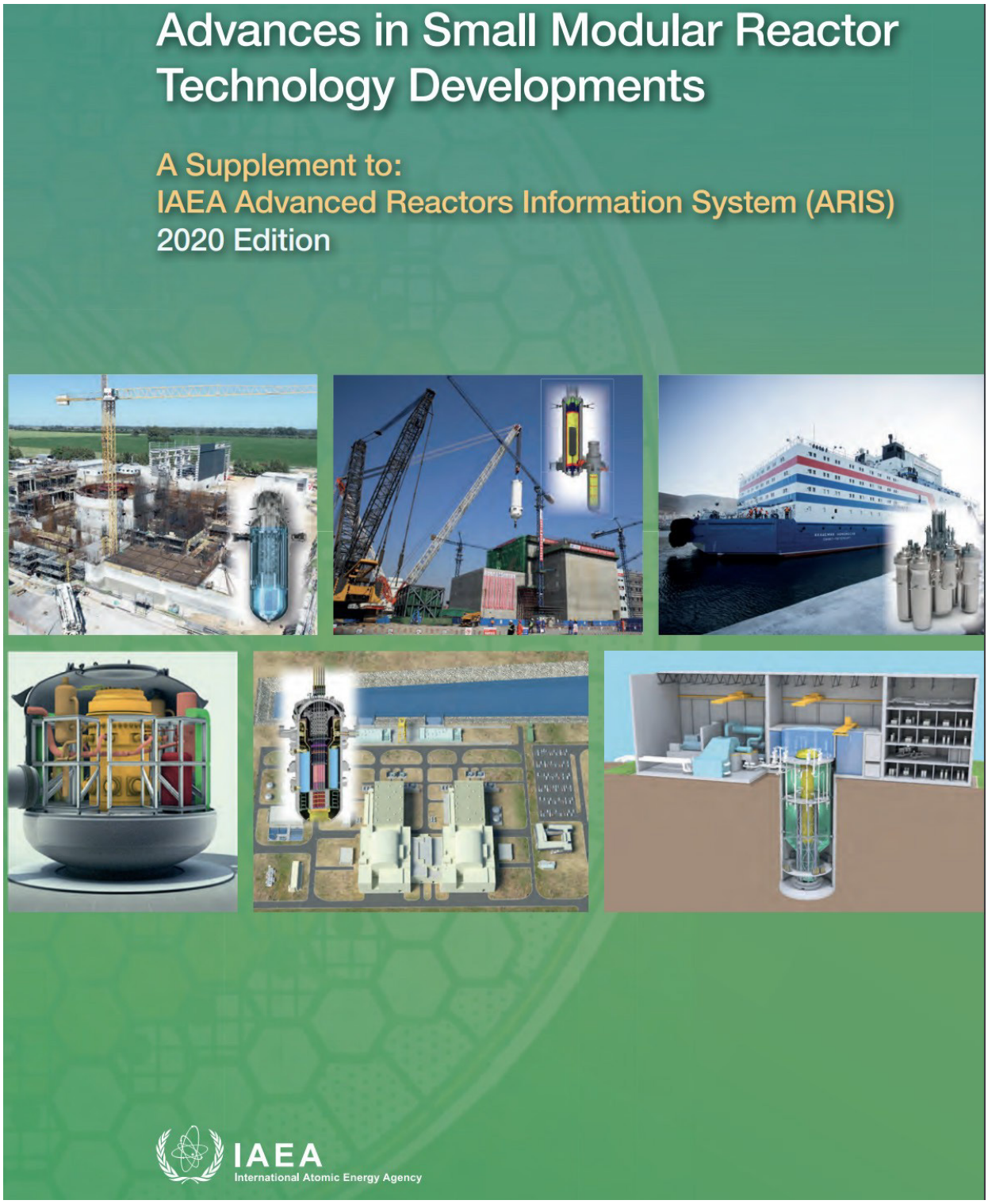
2 Stora reaktorer

3 Kommentarer

4 Amerikanska Advanced Reactor Demonstration Program – ARDP

Små
Modulära Reaktorer (SMR)

Ett 70-tal SMR är under utveckling för olika ändamål



Vad är en SMR?

En SMR är:

Small - liten - dess uteffekt är betydligt mindre än från de reaktoranläggningar som drivs idag

Cirka 1/3-del eller mindre av dessa befintliga anläggningars effekt, dvs 300 MW eller mindre. Det är dock ingen strikt gräns för definitionen SMR.

Modulär, dvs är utformad på ett sätt som gör det möjligt att fabriksmontera större delar av anläggningen och transportera dessa som en enhet till förläggningsplatsen för installation.

Reaktor, dvs den utnyttjar kärnklyvning för att generera värme som i sin tur används för att producera elenergi eller värmeenergi till förbrukare.

Ibland fäster man mindre vikt vid att anläggningen är liten och benämningen AMR - Advanced Modular Reactor används också.

Varför SMR?

Den främsta anledningen att SMR utvecklas är den välgrundade uppfattningen att de kan bli **billigare** att bygga än de stora anläggningarna (per kW uteffekt). Detta till följd av enklare konstruktion, omfattande tillverkning i fabrik, att man kan tillgodogöra sig erfarenheter från många byggen och därmed minska kostnaderna såväl som risken för förseningar. Därtill är slutsatsen att konstruktionen kan göras så **säker** att det blir stora friheter att förlägga anläggningen, t. ex. nära förbrukarna av elkraften eller värmen. Även om detta inte är unikt, kan det ske med enklare medel för SMR jämfört med de stora anläggningarna.

Den mindre anläggningen gör att den kan **byggas stegvis**. En SMR kan t. ex. byggas med 4, 6 eller 12 enheter som tillsammans bildar en kärnkraftsanläggning. Den stegvisa investeringen, som dessutom är mindre per steg än för en stor anläggning och går fortare att få på plats, gör att investeringsbeslutet blir lättare eftersom det är mindre riskfyllt och ger tidigare återbetalning.

Det är även **lättare att hitta lämpliga förläggningsplatser** för SMR eftersom dess sammanlagda storlek på en plats kan anpassas. Till exempel kan anläggningen anpassas till hur stor anläggningen var som ska ersättas i det fall detta är skälet till nybyggnaden eller till den tillgängliga infrastrukturen i övrigt.

Finns problem?

Egentligen inte. I praktiken finns det dock i några länder, Sverige inbegripet, hinder i tillståndsprocesser eftersom dessa anpassats till de reaktorer som idag finns i drift. Därtill har vi tillåtit oss att inkludera politiska beslut direkt i författningar, till men för anpassning till en föränderlig värld.

De sakliga frågorna i en tillståndsprocess - god säkerhet och liten miljöpåverkan - är demonstrerade för flera SMR.

Mångfalden

Det stora antalet SMR som är under utveckling kan man se som ett gott tecken på kärnteknikens styrka. Det finns alternativ som byggs, som är helt färdiga att bygga, som är klara att bygga inom mindre än 10 år samt sådana som siktar på en marknad som kan komma att etableras in mot 2040-talet. Denna skrift tar upp ett fåtal konstruktioner som antingen redan byggs eller är klara att byggas nu eller inom några få år. Det viktiga budskapet är att det är direkt fel att hävda att det tar lång tid att utveckla och senare bygga SMR. Flera SMR-konstruktioner kan kontrakteras så snart de legala hindren undanröjts, det skapats tilltro till tillståndsprocesserna samt att stabiliteten i förutsättningarna för ny kärnkraft demonstrerats.

Ett 20-tal av de SMR som utvecklats och fortsätter att utvecklas är lättvattenreaktorer med en teknik som ligger nära den som används i de reaktorer som är i drift i Sverige. Av dessa är ett 10-tal utvecklade till en nivå som medger detaljerad värdering av kommersiell nytta och säkerhet. De passar även in i den infrastruktur för kärnkraft som redan är fastställd i Sverige.

Exempel på SMR med lättvattenreaktor under byggnad är:

CAREM-25 i Argentina:

Linglong One i Kina (se senare i denna skrift).

Därtill har Ryssland färdigställt en prambaserad anläggning som bogserats till norra Sibirien för el- och värmeförsörjning (Akademik Lomonosov).

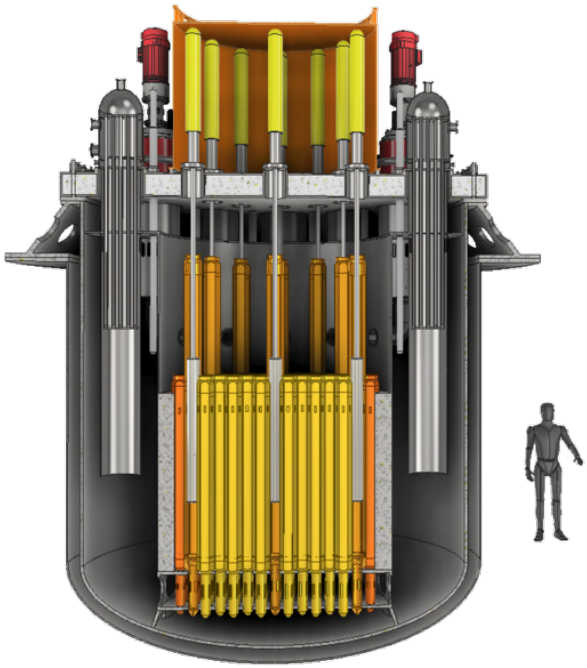
De konstruktioner som presenteras i detta papper kan med ett möjligt undantag vara färdigbyggda i Sverige under 2020-talet. Undantaget är NUWARD, vars utveckling i stor utsträckning beror på det tempo som väljs i Frankrike.

Kanske i framtiden?

I en framtid som kanske inte är alltför avlägsen kan flera andra SMR-konstruktioner komma att etableras.

De kräver mer utvecklingsinsatser och kan även komma att påverka infrastrukturen för kärnkraft.

De fördelar de erbjuder behöver därför vägas mot insatserna som behövs för att kunna tillgodogöra sig dessa fördelar. Exempel på sådana konstruktioner är:



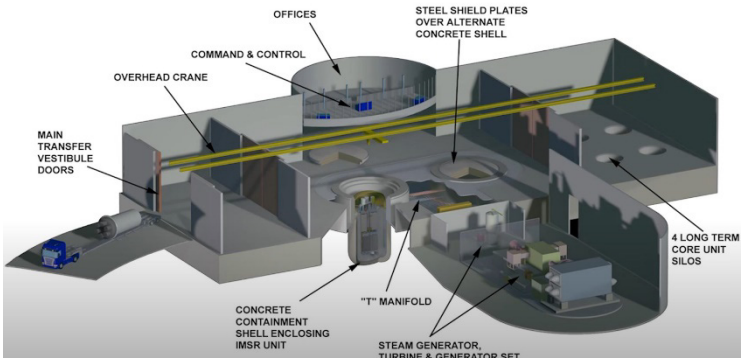
SEALER (LeadCold, Sverige)

En blykyld reaktor som medger höga temperaturer och därmed kan bredda användningen av dess energiproduktion.

Kräver ny hantering av bränslet som är höganrikat på den klyvbara isotopen. Komponentdemonstration pågår, bl. a. med stöd av Energimyndigheten och Uniper.

Därtill finns flera SMR med bränsle i en flytande saltlösning. Dessa demonstrerades redan på 1950- och 1960-talen, men lades trots goda erfarenheter åt sidan i konkurrensen med lättvattenreaktorerna. Deras fördelar kan komma att bli värdefulla i en framtid tack vare deras förmåga att använda olika typer av klyvbart material som bränsle. Därtill kan de lämna energi vid hög temperatur och därmed vidga energianvändningen till fler syften än producera el.

Ett exempel är **Terrestrial Energy:s IMSR400-reaktor**.



Dess hela härd inklusive vissa komponenter byts ut storleksordningen vart 7:e år. Bränslet är ett flytande salt som strömmar genom grafittuber i härden.

Slutsats

SMR är mindre reaktorer än de som traditionellt har byggts. Det finns flera olika tekniker i olika stadier av utveckling. Många bygger på samma teknik som sedan mer än 50 år använts i stora kärnkraftverk. Dessa reaktorer ligger mycket nära marknadsintroduktion (det går redan att teckna order på dem). Utöver dessa tekniker pågår även utveckling av reaktorer där man söker nå andra fördelar med kärntekniken. Om och när de når marknaden är ännu oklart.

Mer info

Följande sidor ger osorterad information om olika SMR under utveckling – i olika stadier.

GE-Hitachi BWRX-300

Leverantör:

GE Hitachi, USA.

Anläggningsdata:

Elektrisk effekt: 300 MW.

Bakgrund:

Bygger vidare på General Electric:s och Hitachi:s utveckling av kokvatten-reaktortekniken (BWR - X i namnet anger 10:e generationen). Erfarenheter är tagna från den stora ESBWR-anläggningen. Passiva säkerhetssystem (behöver inte kraft eller vatten utifrån).

Teknikläget:

Tekniska lösningar är antingen beprövade i befintliga BWR-anläggningar eller verifierade i experimentanläggningar.

Verifikationsläget avseende säkerhet prövas i myndighetsgranskning.

Verifikationsläget avseende elproduktion prövas i granskningar av potentiella kunder.

Myndighetsgodkännande:

Granskas av amerikanska myndigheten NRC.Flera av licensieringsrapporterna är godkända.

Granskas av kanadensiska myndigheten CNSC.

Byggplaner:

Kanada: Ontario Power, Darlington klart 2028.

USA: TVA – ca 2032.

Polen (indikation): Tidigt 2030-tal.

Utvärderingar för tillämpning:

Estland: Fermi Energia (Vattenfall, Fortum)

Polen: Synthos Green Energy Tjeckien: ČEZ - MoU utredningar.

USA: Tennessee Valley Authority (TVA) vid Clinch River. Två års platsspecifik konstruktion och licensiering.

Sammanfattning av status:

Anläggningen färdigkonstruerad. Erfarenhetsbas solid.

Säkerheten demonstrerad och prövas av etablerade myndigheter.

Leverantörskedjor utredda och delvis kontrakterade (BWXT Kanada).

Anläggningen kan kontrakteras.

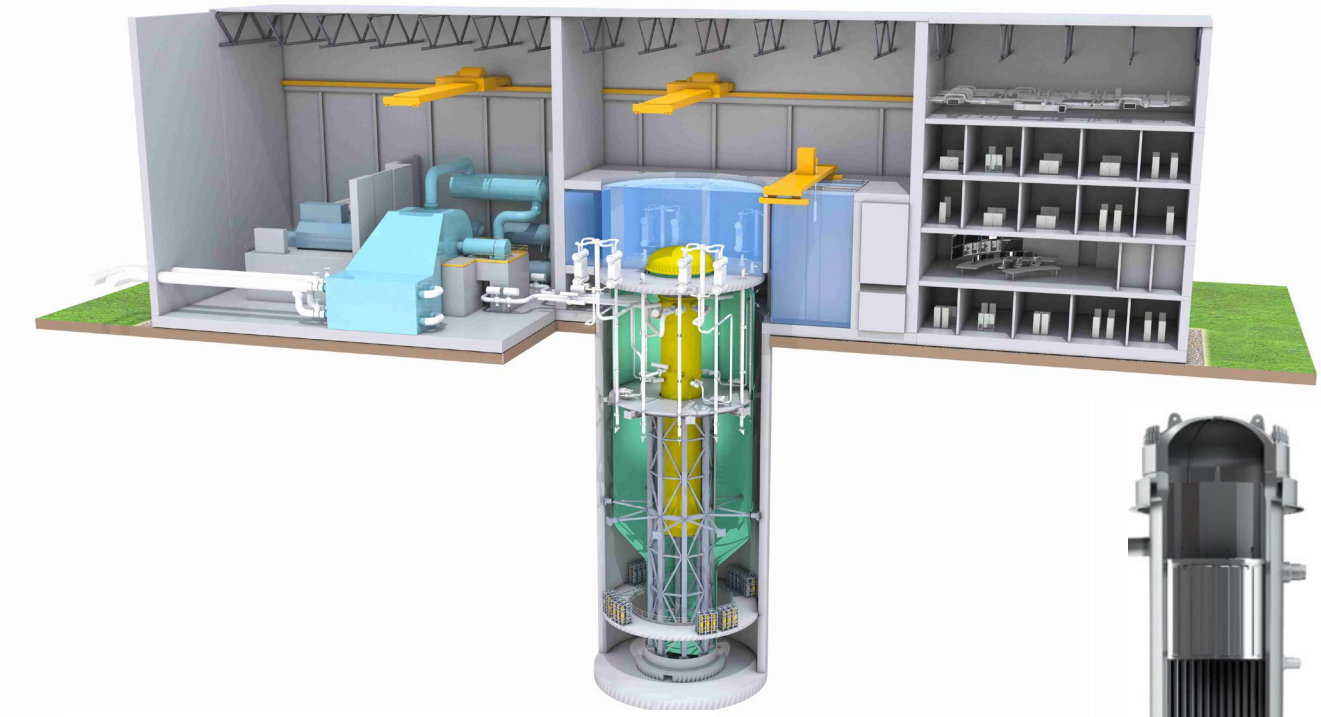
Byggtid första anläggning: mindre än 5 år. Seriebyggnation: 26 månader.

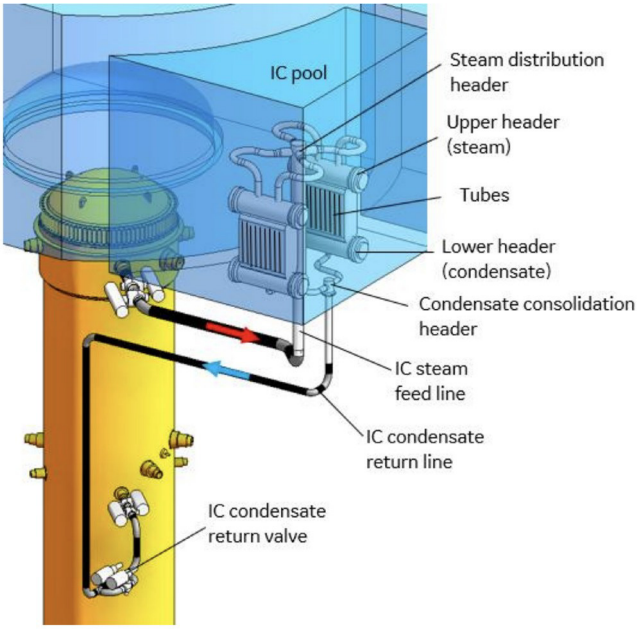
Svensk samarbetsorganisation finns.

Leverantören hävdar att anläggningskostnaden är ca 700 MUSD.

SLUTSATS:

Kan stå klar till 2030 om författningar justeras i närtid och politisk stabilitet kommuniceras. Vattenfall och Fortum är familjära med konstruktionen via deltagande i utvärdering i Estland.




IC pool
Steam distribution header
Upper header (steam)
Tubes
Lower header (condensate)
Condensate consolidation header
IC steam feed line
IC condensate return line
IC condensate return valve

NuScale (VOYGR)

Leverantör:

NuScale Power, USA

Anläggningsdata:

Elektrisk effekt: 77, 308, 462, 924 MW (1, 4, 6, 12 moduler).

Ägare och finansiering:

NuScale (bildat 2007), Spring Valley Acquisition Corp – NuScale Power börsnoterat på NYSE.

Finansiärer:

Fluor, Doosan Enerbility, Samsung C&T Corporation, JGC Holdings Corporation, IHI Corporation, Japan Bank for International Cooperation, Enercon Services, Inc., GS Energy,
Sarens and Sargent & Lundy - samtliga stora bolag med erfarenheter från kärnkraftsindustrin.

Finansieringsstöd:

500 miljoner $ från US DOE. Ytterligare 200 miljoner $ t.o.m. 2024.

Bakgrund:

Ny utveckling även om grundkonceptet är en tryckvattenreaktor (PWR).

Teknikläget:

Tekniska lösningar till dels beprövade i befintliga PWR-anläggningar. Experiment därtill. Verifikationsläget avseende säkerhet prövat av amerikanska myndigheten NRC.

Verifikationsläget avseende elproduktion prövas i granskningar av potentiella kunder.

Myndighetsgodkännande:

Godkänd av amerikanska myndigheten NRC september 2020 efter fyra års granskning.

Byggplaner:

USA: Carbon Free Power Project (CFPP), som leds av det offentliga kraftkonsortiet Utah Associated Municipal Power Systems (UAMPS). UAMPS har fått 1,4 miljarder $ i stöd för projektet. Första modul i drift 2029 och återstoden under 2030. Ytterligare applikationer under bearbetning.

Rumänien: Överenskommelse 4 november 2021 mellan USA och Rumänien att NuScale i samarbete med SN Nuclearelectrica ska bygga en 6-modulanlägg-ning, klar 2027-2028.

Polen: Gruvbolaget KGHM:s planer: Överenskommelse februari 2022 för introduktionen av en NuScale 2029.

Utvärderingar för tillämpning:

Arbete pågår i Kanada, flera länder i Europa (bl.a. Estland med deltagande av Vattenfall och Fortum) och i Kazakhstan. Slutet 2021 hade NuScale nio under-tecknade och aktiva samförståndsavtal med kunder i 11 länder.

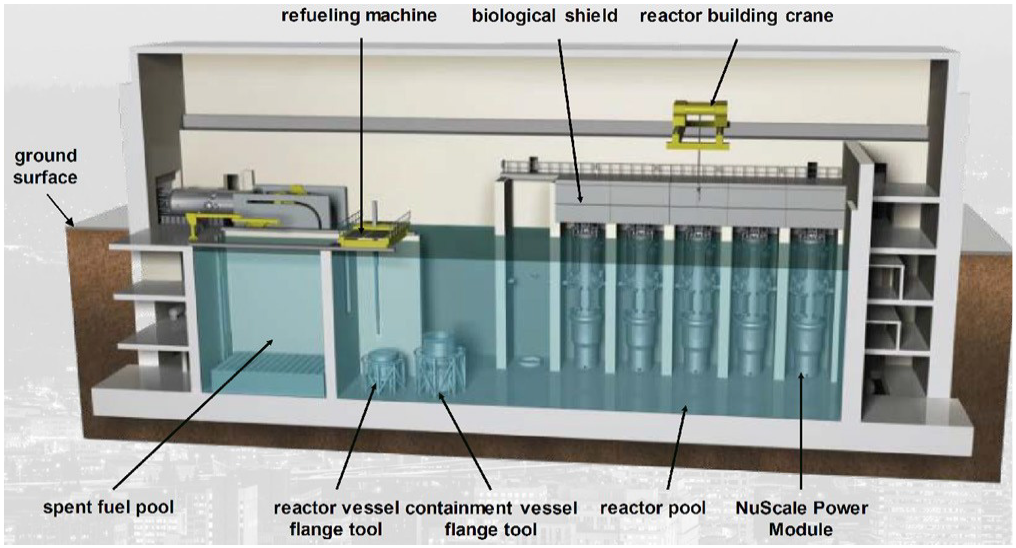
Sammanfattning av status:

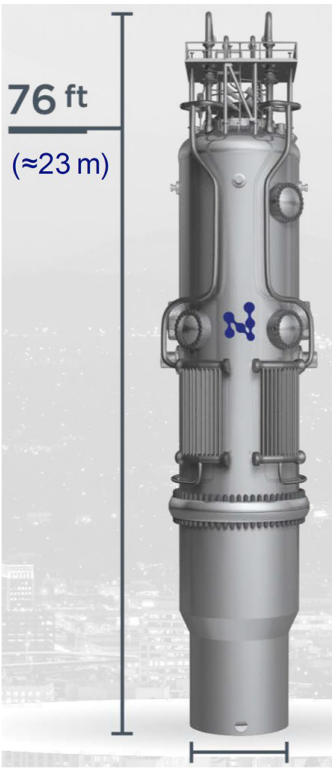
Statsstöd för introduktion i USA och Europa. Anläggningen färdigkonstruerad. Säkerheten demonstrerad i myndighetsprövning. Leverantörskedjor fastställda och ingår i företagets intressesfär. Tillverkning påbörjad i demonstrationssyfte. Anläggningen kontrakterad i USA.

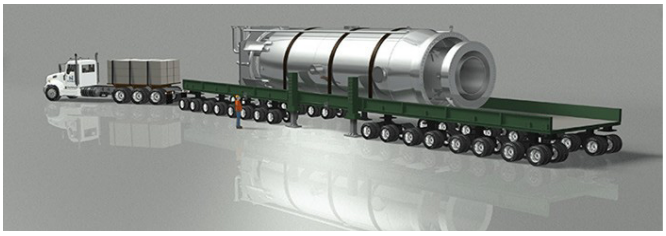
Byggtid första anläggning: mindre än 5 år. Seriebyggnation: mindre än 3 år.

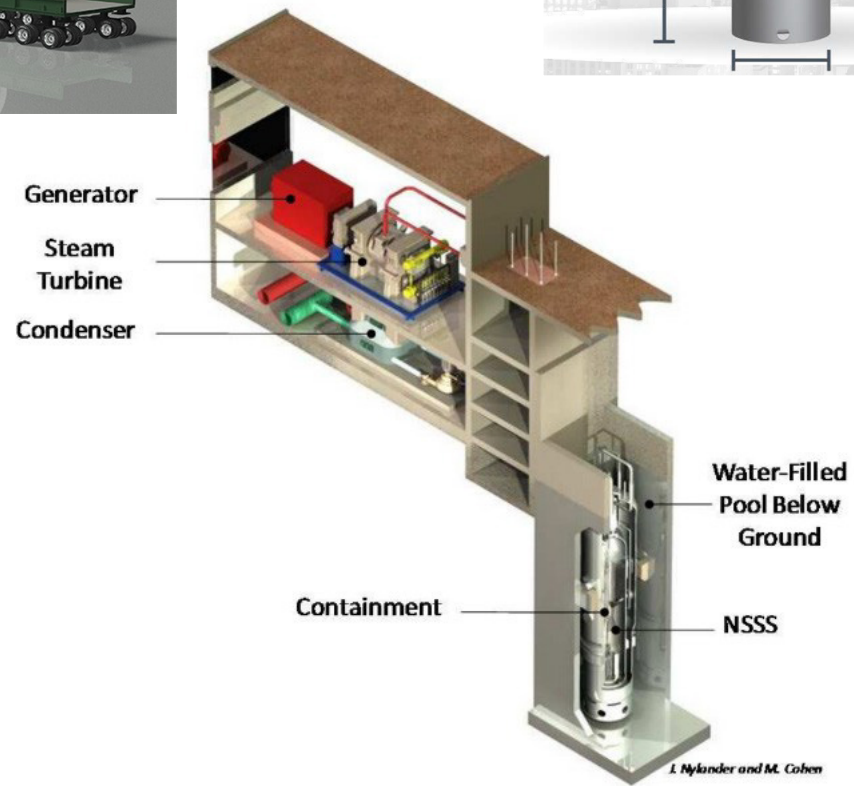
SLUTSATS:

Kan stå klar till 2030 om författningar justeras i närtid och politisk stabilitet kommuniceras. Vattenfall och Fortum är familjära med konstruktionen via deltagande i utvärdering i Estland.









Rolls Royce

Leverantör:

Rolls Royce SMR Ltd inom ramen för ett samarbete med Assystem, Atkins, BAM Nuttall, Jacobs, Laing O'Rourke, National Nuclear Laboratory, Nuclear Advanced Manufacturing Research Centre och TWI (UKSMR-konsortiet).

Anläggningsdata:

Effekt: 470 MW.

Ägare och finansiering:

Rolls Royce Group; Exelon Generation Ltd.; BNF Resources UK Ltd; Quatar Investment Authority.

Finansieringsstöd:

Rolls Royce SMR Ltd har samlat 559 M£ från investerare och Brittiska staten (BEIS) för slututveckling av sin SMR för att kunna tas i drift 2030.

Bakgrund:

Ny utveckling även om grundkonceptet är en tryckvattenreaktor (PWR).

Teknikläget:

Tekniska lösningar beprövade i befintliga PWR-anläggningar. Verifikationsläget avseende säkerhet kommer att prövas i påbörjad granskningsprocess (myndigheten ONR:s GDA-process som innefattar miljöprövning) i Storbritannien.

Verifikationsläget avseende elproduktion prövas i granskningar av potentiella kunder liksom av partnern i konsortiet (Exelon).

Myndighetsgodkännande:

Påbörjad 1 april 2022 av myndigheten ONR i Storbritannien.

Byggplaner:

Inga pågående. Kommer med säkerhet att byggas i Storbritannien, klart omkring 2030.

Utvärderingar för tillämpning:

Arbete pågår via samverkansavtal i flertal Europeiska länder. Uttalat stöd från Brittiska staten (inklusive 210 M£ finansieringsstöd).

Enda leverantör som erbjuder kontrakt med helhetsåtagande (nyckelfärdigt).

Anger kostnaden till ca 2,3 miljarder £.

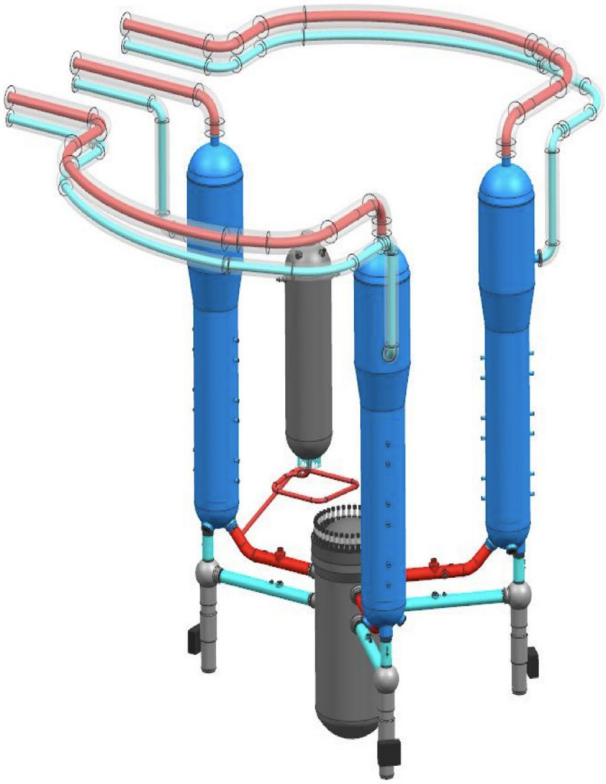
Sammanfattning av status:

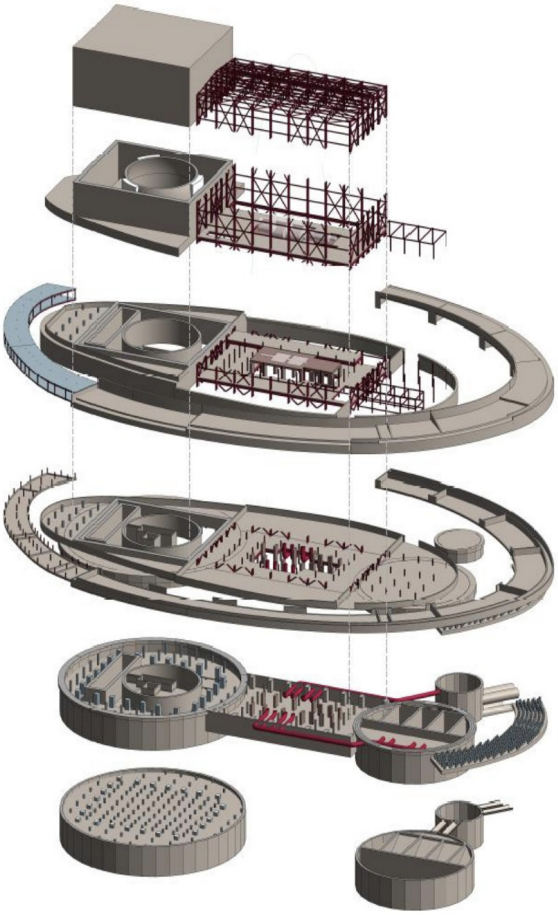
Erfarenhetsbaserad konstruktion klar för säkerhetsgranskning. Första anläggning i drift i början av 2030-talet. Leverantörskedjor identifierade.

Byggtid första anläggning: 3 år. När fem byggts ska byggtiden ha minskat till 2 år.

SLUTSATS:
Kan stå klar tidigt 2030-talet om författningar justeras i närtid och politisk stabilitet kommuniceras. Omfattningen av och innehåll i granskning i Storbritannien underlättar – möjliggör återanvändning.
Vattenfall och Fortum familjära med konstruktionen via deltagande i utvärdering i Estland.

Reaktor med ånggeneratorer och tryckhållare.





NUWARD

Leverantör:

Franska eDF, CEA (Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alter-natives), NAVAL Group och TechnicAtome i samverkan.

Anläggningsdata:

Effekt: 2 x 170 MW.

Ägare och finansiering:

Leverantörerna.

Finansieringsstöd:

Förutom från ägarna finns stöd från franska staten.

Bakgrund:

Ny utveckling även om grundkonceptet är en tryckvattenreaktor (PWR).

Teknikläget:

Tekniska lösningar till dels beprövade i befintliga PWR-anläggningar och andra driftsatta små reaktorer. Säkerhetsnivå som medger närförläggning. Konstruktionen klar för ingående granskning och fortsatt konstruktion.

Myndighetsgodkännande:

Granskning påbörjad. Sker till dels i samverkan mellan franska ASN, tjeckiska SUJB och finska STUK.

Byggplaner:

Inga pågående. Kommer med säkerhet att byggas i Frankrike, klart första halvan av 2030-talet. Ingår i punkt 1 i president Macrons 10 mål presenterade 12 oktober 2021.

Den 2 december 2021 bildades International NUWARD™ Advisory Board (INAB), som samlar kända tekniska, industriella och akademiska experter bland vilka representanter för bl.a. Fortum och TVO ingår.

Utvärderingar för tillämpning:

Arbete pågår via samverkansavtal som innefattar inbjudan till andra leverantörer att delta i slutförandet av NUWARD.

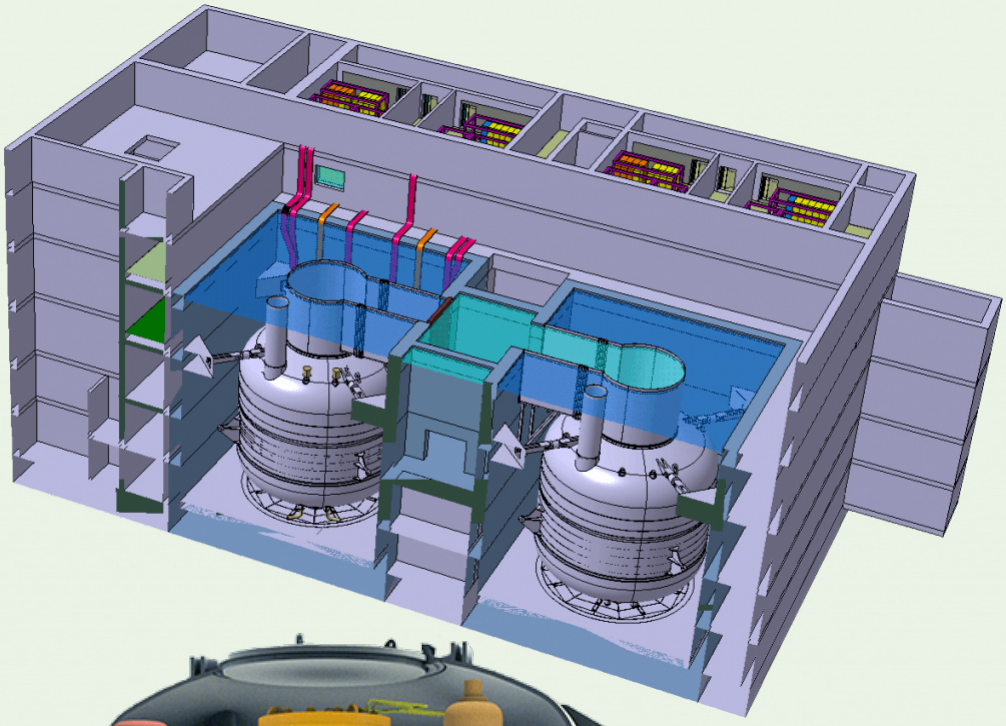
Sammanfattning av status:

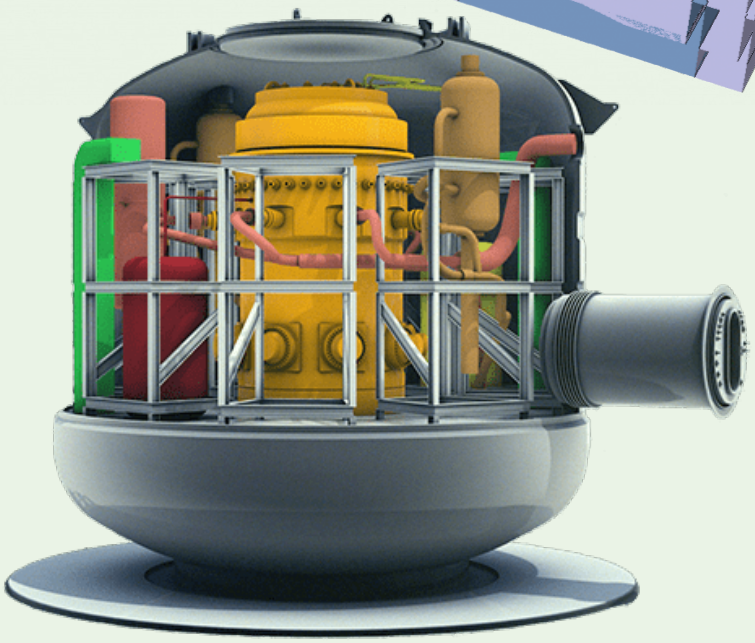
Delvis erfarenhetsbaserad konstruktion med omfattande stöd från tunga teknikorienterade organisationer och från franska staten.

Internationell expertis samlad för rådgivning inom breda områden.

Väl förankrad i europeisk syn på säkerhetsvärdering, inklusive IAEA.

SLUTSATS:





Väl förankrad utveckling som kommer att slutföras och anläggningar byggas, först i Frankrike tack vare uttalat starkt statsstöd. Utvecklaren EDF har åtagit sig att verka för harmonisering av tillståndskraven. Franska ASN, tjeckiska SUJB och finska STUK arbetar med detta. Nordiska representanter – dock ej svenska – följer utvecklingen i detalj via rådgivande grupp. Svensk representation i den rådgivande gruppen vore önskvärt. Därmed skulle anläggningen kunna byggas i Sverige för att vara driftklar under andra halvan av 2030-talet.

NUWARD-projektet startade i september 2019 och konceptkonstruktionen slutförs under 2022 med stöd av belgiska Electrabel för turbinanläggningen och andra anläggningsdelar utanför reaktordelen, inkl 3D-modellering av byggnaderna och anläggningens layout. Från 2023 genomförs grundkonstruktionen som ska vara klar 2025. Omkring 2030 beräknas konstruktionen vara klar och certifierad samt leveranskedjor vara upprättade. Därefter startar bygget av en demonstrationsanläggning som beräknas vara klar 2033.

President Macron har markerat att man avser bygga SMR i Frankrike som ett led i att öka elproduktionen med ca 60% inom 30 år. Han har sagt att 1 miljard EURO ska göras tillgängliga för NUWARD och innovativa reaktorer som sluter bränslecykeln och producerar mindre mängder avfall. Han har också angett att en prototyp borde vara tillgänglig redan 2030 (del av Frankrikes revitaliseringsprogram för industrin fram till 2030.

ACP100 (Linglong One)

Leverantör:

China National Nuclear Corporation (CNNC).

Anläggningsdata:

Effekt: 125 MW per modul.

Ägare och finansiering:

Leverantörerna.

Finansieringsstöd:

Från ägarna och kinesiska staten.

Bakgrund:

Ny utveckling även om grundkonceptet är en tryckvattenreaktor (PWR).

Teknikläget:

Tekniska lösningar till dels tagna från tidigare tryckvattenreaktorer som Kina byggt. Samordnat med Hualong One-utveckling som Kina byggt (och bygger) hemma, i Pakistan och planerar i Storbritannien (genomgår ONR-granskning). ACP100 är identifierad som ett nyckelprojekt i Kinas 12:e femårsplan och är konstruerad för elproduktion, uppvärmning, ångproduktion eller avsaltning av havsvatten.

Enligt CNNC utvecklades den från den större ACP1000 PWR. Designen, som har 57 bränslepatroner och inbyggda ånggeneratorer, innehåller passiva säkerhetsfunktioner och installeras under jord.

Omfattande testning genomförd i stor skala för att visa funktionen av nya lösningar.

Myndighetsgodkännande:

Granskad av IAEA på uppdrag av CNNC med gott resultat (slutfört 2016). Granskad och godkänd i Kina - preliminära säkerhetsanalysrapporten godkändes i juni 2020 som förutsättning för start av byggnationen vid Changjiang.

Byggplaner:

Började byggas vid Changjiang kärnkraftverk i södra Kinas Hainan-provins den 13 juli 2021.

Utvärderingar för tillämpning:

Inga kända planer utanför Kina.

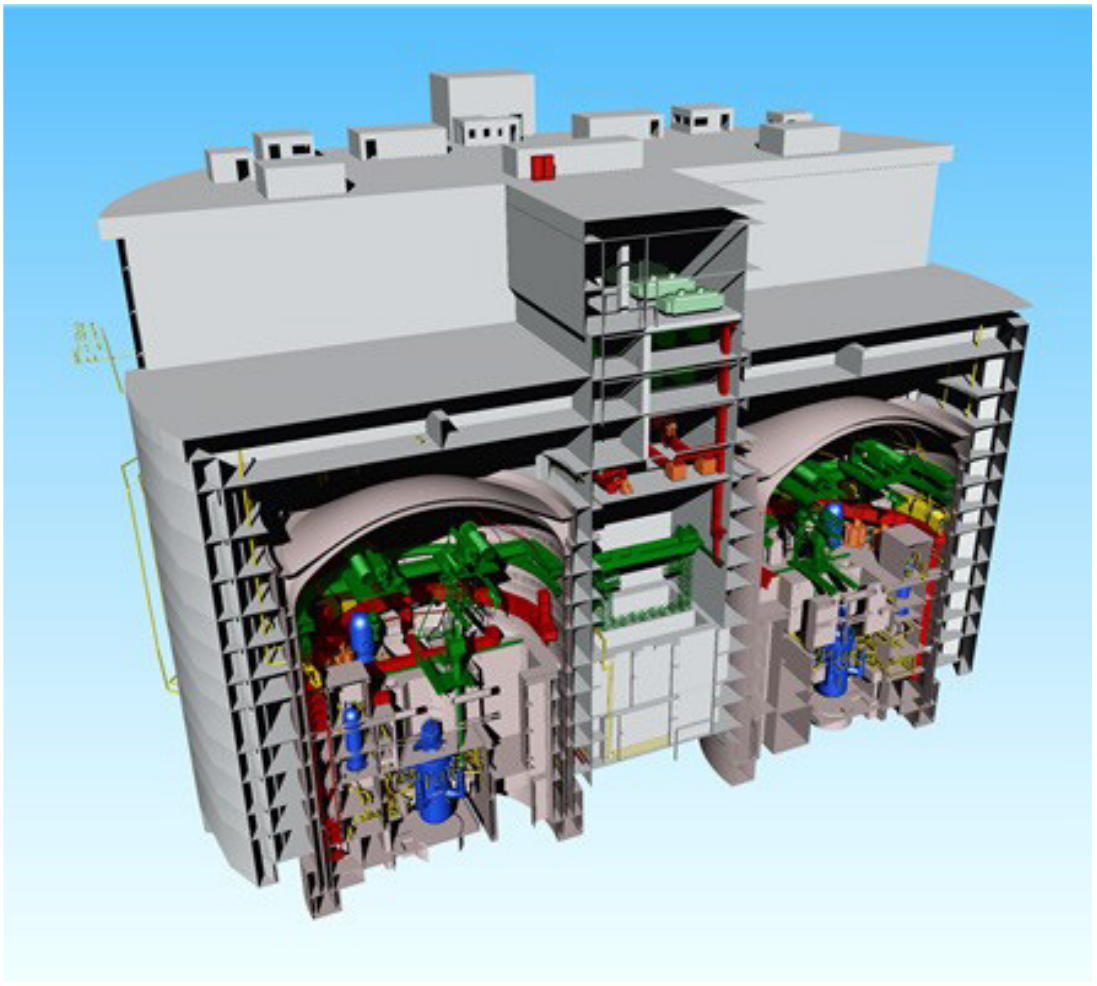
Sammanfattning av status:

CNNC:s dotterbolag China National Nuclear Power är ägare av anläggningen och driftansvarig, Nuclear Power Institute of China är reaktorkonstruktören och China Nuclear Power Engineering Group ansvarar för anläggningskonstruktionen och uppförandet. Bygget beräknas ta 58 månader. I maj 2022 ligger de något före tidplanen.

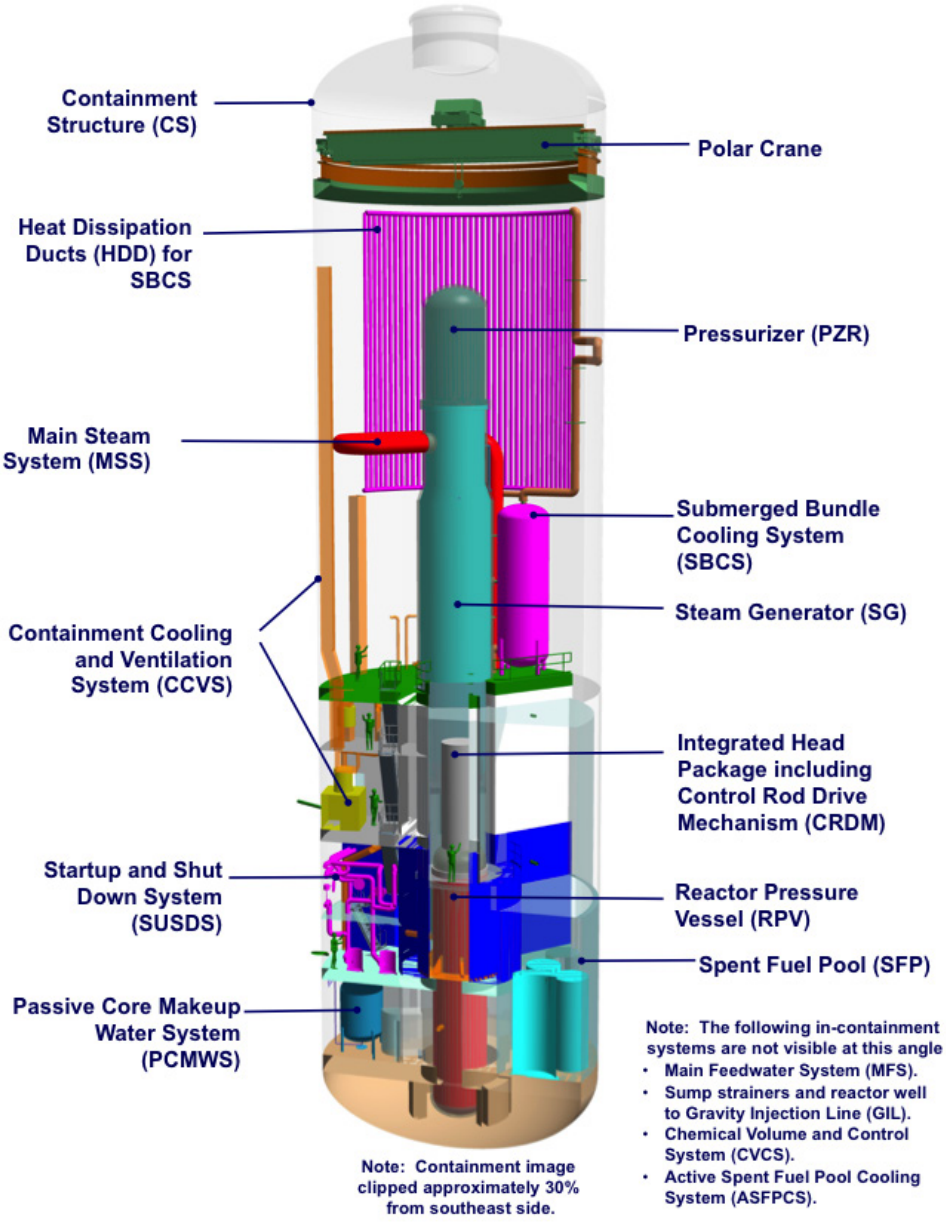
Test av säkerhetssystem

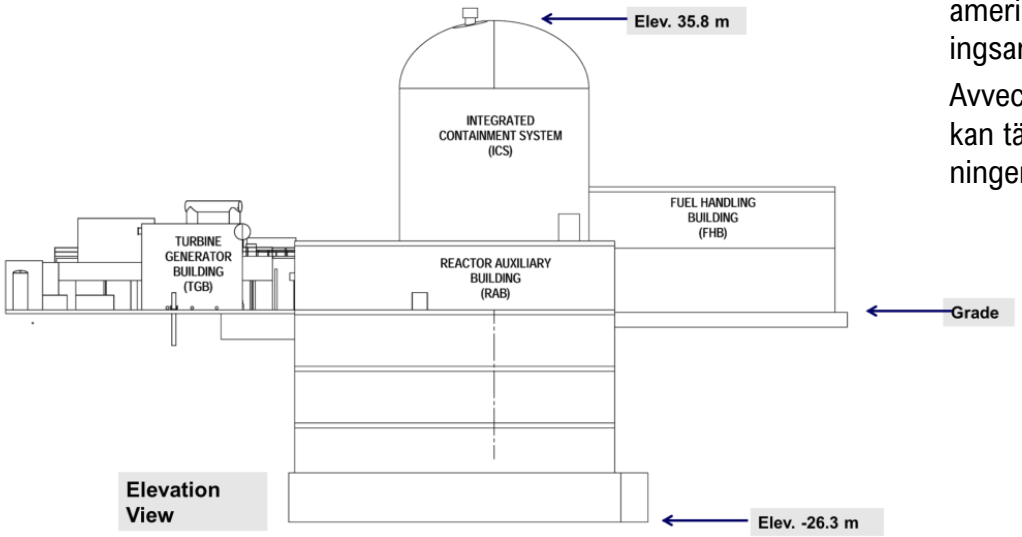
SLUTSATS:

Del i den omfattande uppbyggnad av energiproduktions-apparaten i Kina. Kan komma att ge värdefulla erfarenheter till omvärlden.



Holtec-160





160 MW PWR

Tänker sig anläggningar i kluster om upp till 10 st.

Bygger på naturlig cirkulation av vattnet mellan härd och ånggeneratorer.

Använder inte bor för reaktivitetskontroll.

Passiva säkerhetssystem.

Hävdar ”Walk-away-safe”.

Hävdar 36 månaders byggtid.

Granskas av NRC.

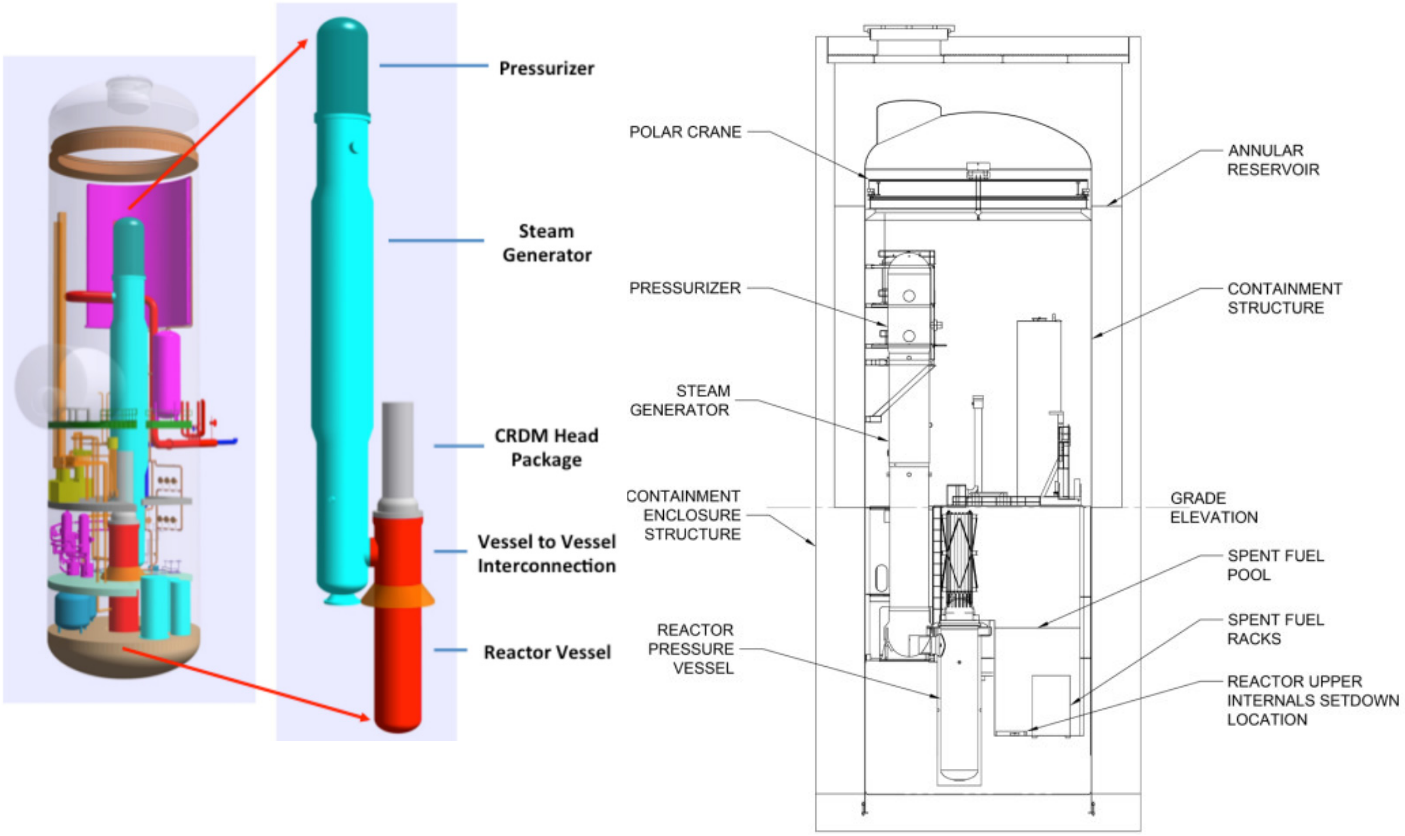
Har studerats i Kanada inför licensieringsgranskning.

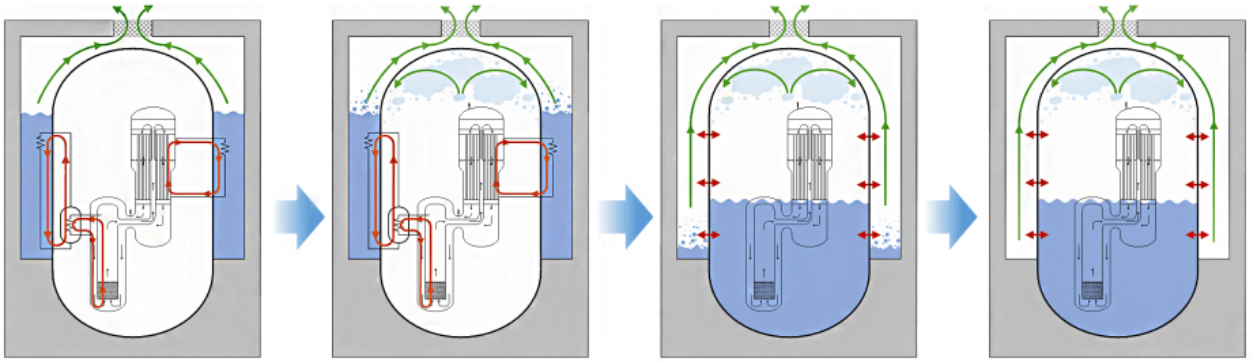
Ingår i flera länders övergripande utvärderingar (ex. Storbritannien, Tjeckien, Kanada, Ukraina, Indien).

Samarbetar med koreanska Hyundai som medleverantör (tunga komponenter och anläggningskonstruktionen). Holtec och Hyundai åtar sig nyckelfärdig leverans. Samverkar med Mitsubishi för leverans av kontrollutrustning och Framatome för leverans av bränsle.

Har fått nära 150 MUSD av amerikanska DOE för utvecklingsarbete.

Avvecklar Oyster Creek och kan tänka sig bygga anläggningen på denna plats.



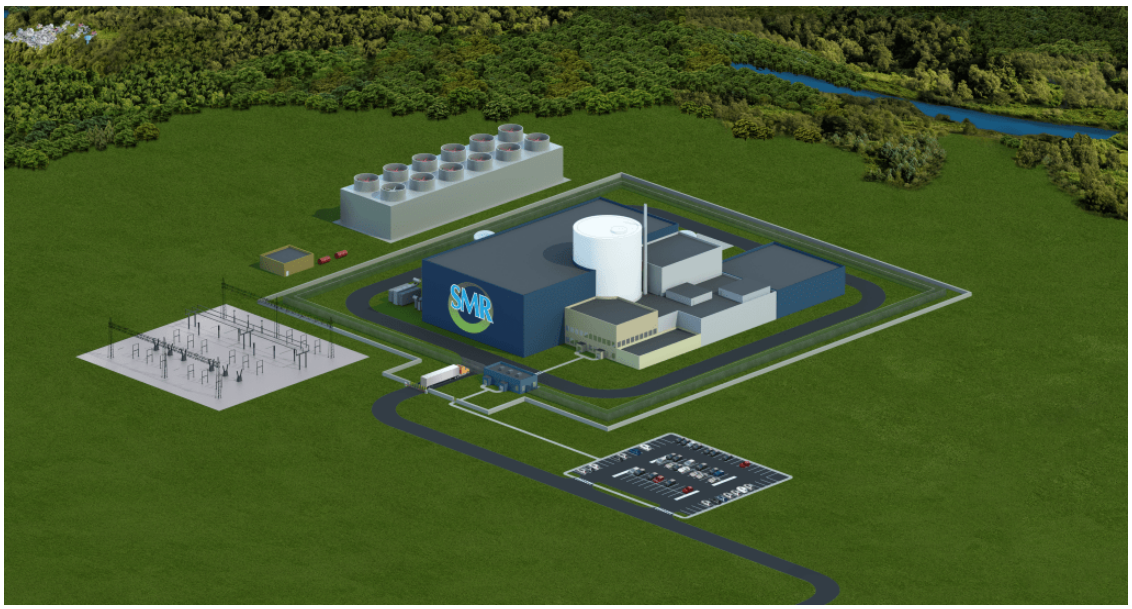


After Trip (and potentially a LOCA), passive cooling from PCCS

First 72 hours, passive cooling from PCCS and PCHR

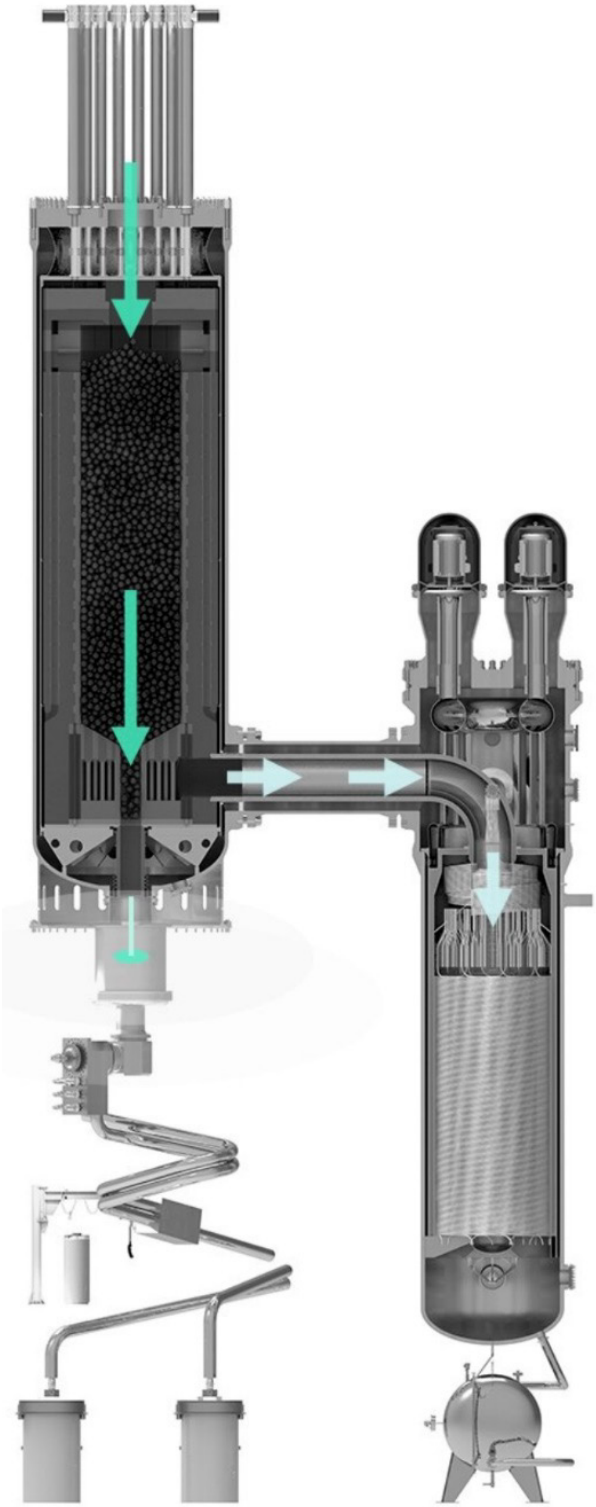
< 90 days, passive cooling from PCHR (steam off of captive Annular Reservoir)

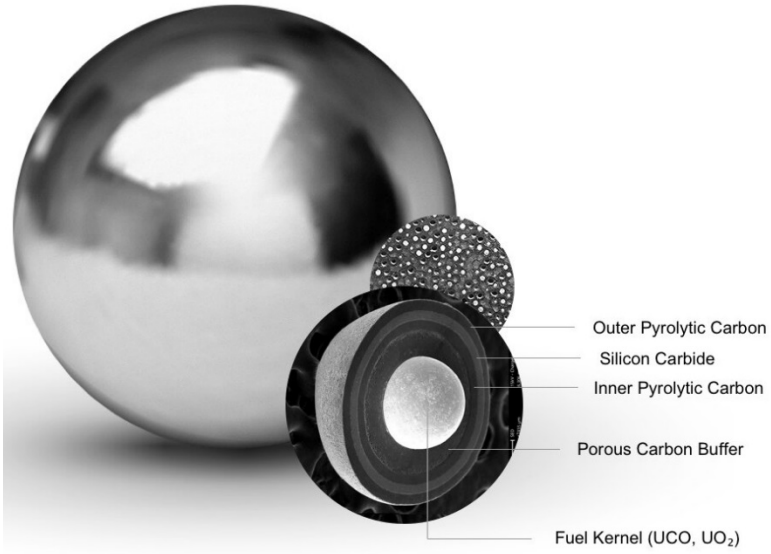
> 90 days, indefinite cooling from passive air cooling



X-Energy

Xe-100 är en 80 MWe reaktor som kan byggas ihop till fyra stycken med totalt 320 MWe uteffekt. Den modulära konstruktionen kan göras ännu större.

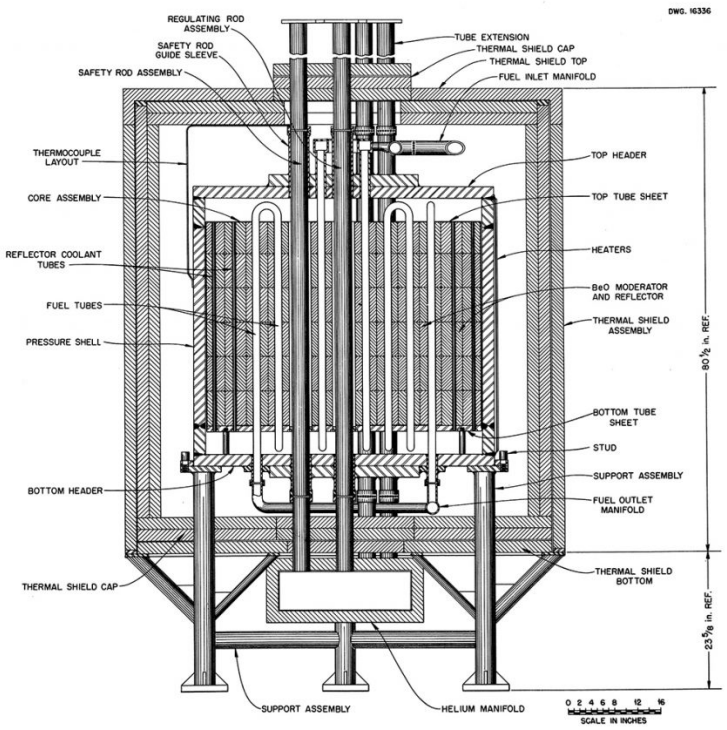




- 220,000 Graphite Pebbles with TRISO Particle fuel
- High temperature tolerant graphite core structure
- ASME compliant reactor vessel, core barrel & steam generator
- Designed for a 60-year operational life
- Flexible application – electricity and/or process heat
- Base load or load following
- Online refueling (95% plant availability)
- High burn-up fuel cycle (160 GWd/tHM)

200 MW ...Thermal Output
80 MW ...Electric Output
750°C ...Helium Temperature
6 MPa ...Helium Pressure
565°C ...Steam Temperature
16.5 MPa ...Steam Pressure

Reaktorer som använder saltsmältor
MSR – Molten Salt Reactor



Bilden till vänster visar Aircraft Reactor Experiment (ARE) som utvecklades mitten 1950-talet för att undersöka om reaktorer kunde bli motorn i bombplan som kunde vara i luften månader i sträck.

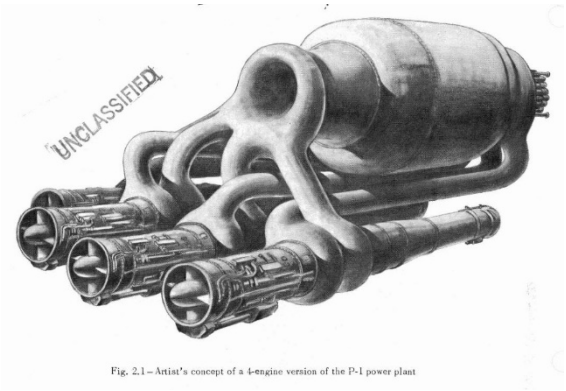


Fig. 2.1 – Artist's concept of a 4-engine version of the P-1 power plant

Experimenten fullföljdes med fullskaletester.

President Kennedy avslutade galenskaperna.

PWR:s ”skapare” Alvin Weinberg tog upp idén och byggde en saltsmältreaktor vid Oak Ridge (Molten Salt Reactor Experiment (MSRE)). Den stod klar 1965 och fungerade klanderfritt under några år med olika typer av bränsle (U-233, U-234, Pu-239 lösta i en saltlösning med fluorider av litium, beryllium, zirkonium).

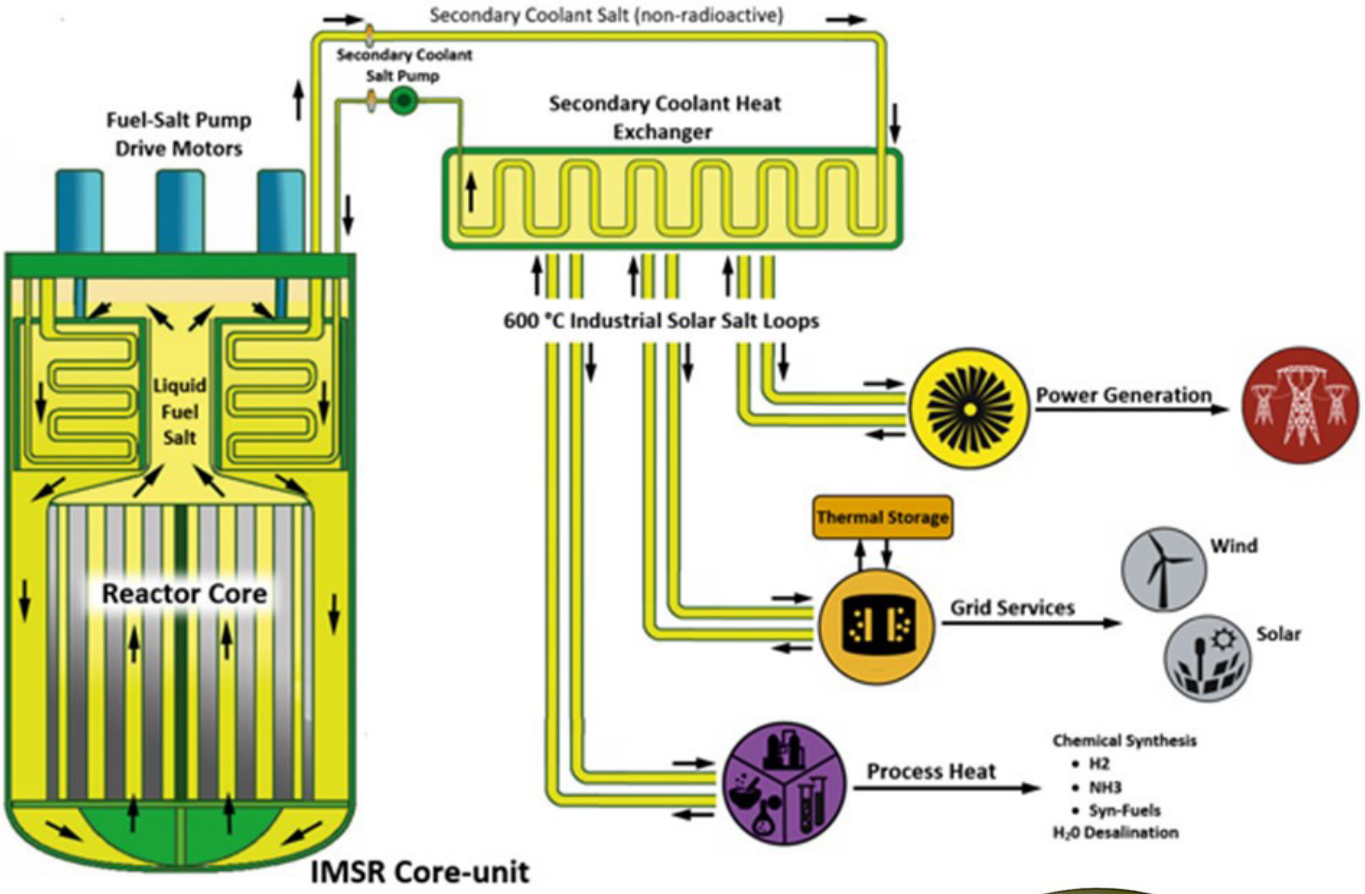
Det finns flera SMR-koncept som använder saltsmältor – såväl med inlöst bränsle som cirkuleras i en krets som med flytande bränsle i rör i en härd. Snabbreaktorer finns liksom termiska, varvid moderering sker med grafit i härden.

Det finns även SMR med saltlösning som energibärare och med bränslet i Triso-form (kulor i tennisbollstorlek med bränsle inlagrat), se bild för X-Energy (konstruktören är Kairos Power).

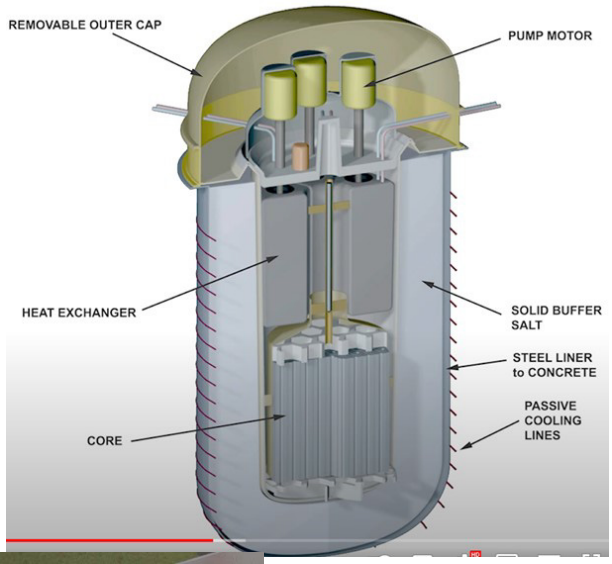
Exempel på andra SMR med saltsmältor är:

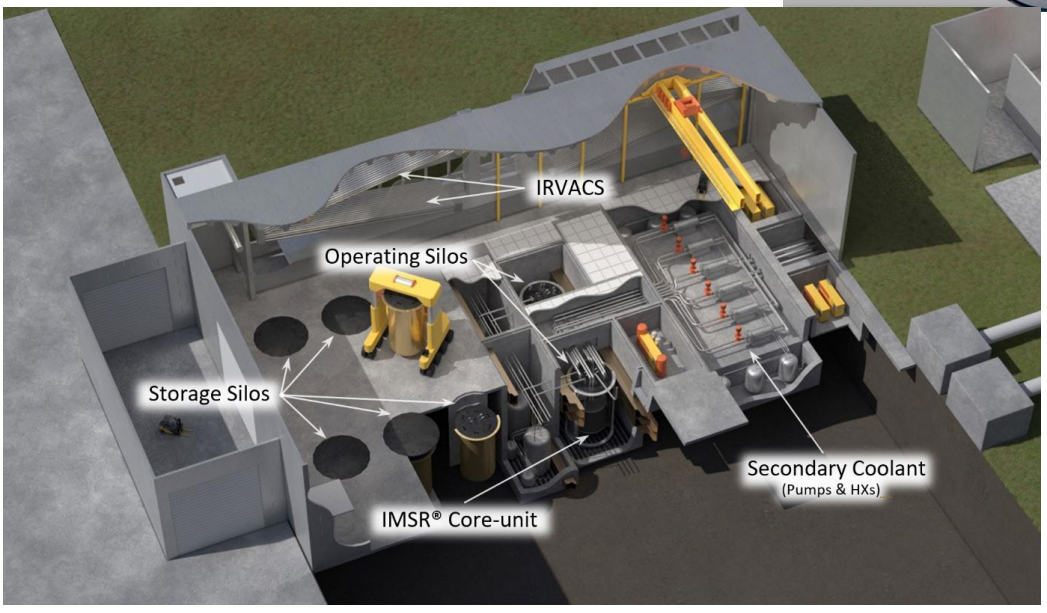
MOLTEX. Flera varianter med olika bränslen och med olika syften. Såväl små (300 MW) till stora (1 200 MW). Fördelarna hävdas vara att avfallet är enklare att ta om hand och att höga temperaturer och stora energilager gör det enklare att samordna produktionen med variabla förnybara energikällor.

Terrestial Energy IMSR400. Använder en saltlösning med bränsle (urantetrafluorid) uppblandat med andra fluorider (natrium, litium och beryllium) som cirkuleras genom grafittuber i härden och via värmeväxlare till en mellankrets med saltlösning som energibärare. Se bild nästa sida.

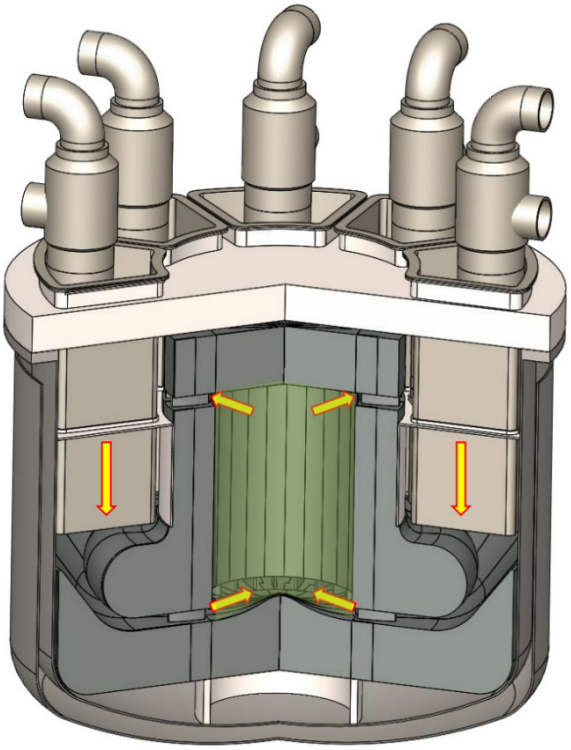


En tanke är att byta hela härdmodulen (bilden till vänster) ungefär vart 7:e år.





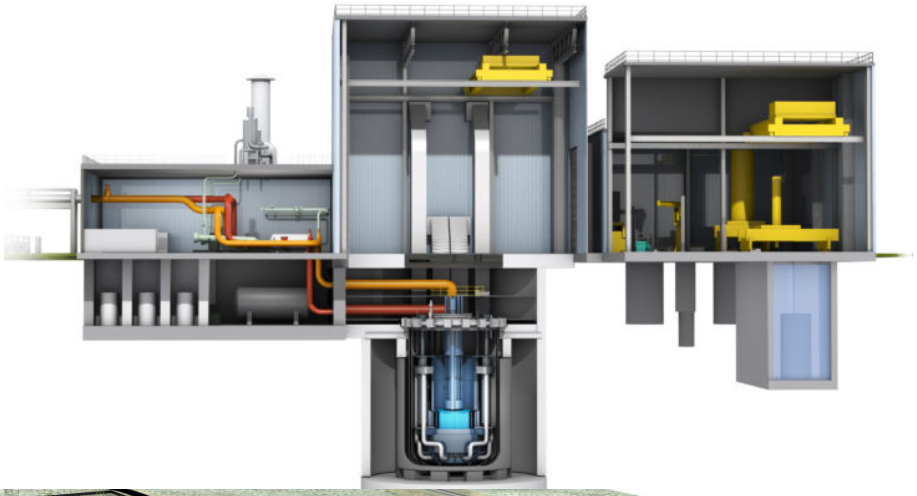
TerraPower har konstruerat en reaktor som använder flytande kloridsaltlösning med bränsle. Saltlösningen är således både bränslet och energibäraren till en sekundärkrets. Det är en snabbreaktor. Se bilden till höger. Företaget har fått 40 MUSD av amerikanska DOE för vidareutveckling av konceptet.

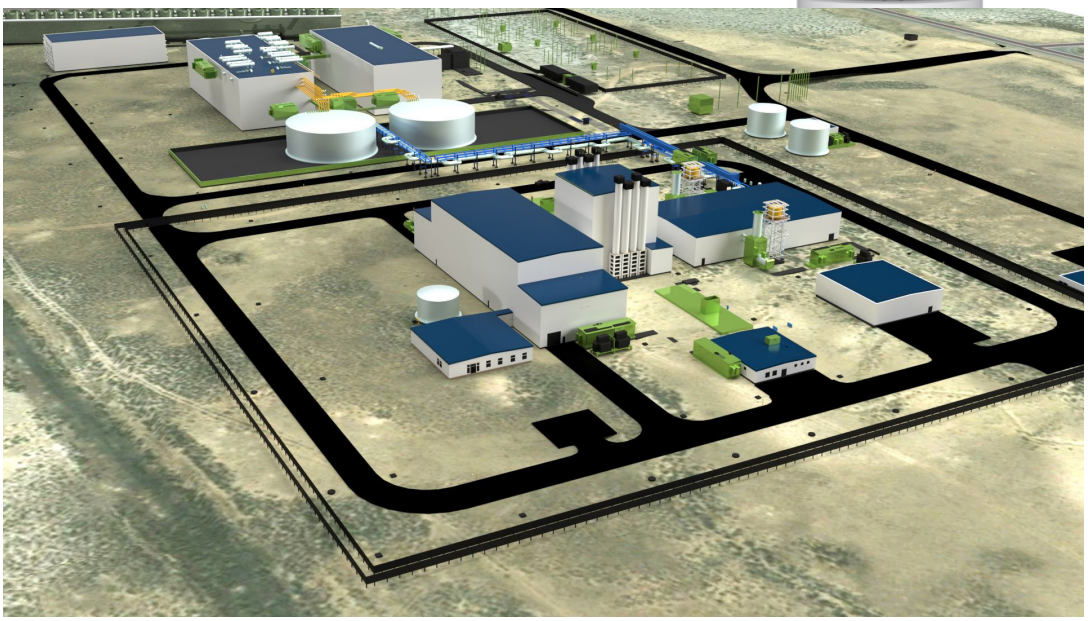


Terrapower utvecklar förutom denna reaktor även Natrium-reaktorn (345 MW) och Travelling Wave-reaktorn. En av huvudsponsorerna är Bill Gates.

Natrium-reaktorn utvecklas tillsammans med GE Hitachi – se bilden nedan. Det är en snabbreaktor med natrium som energibärare till en mellankrets och till ett energilager. Konstruktionen ska därmed passa bra ihop med variabla energikällor.

En prototyp kan komma att byggas i Kemmerer i Wyoming, USA. Samarbetet sker med DOE inom deras Advanced Reactor Demonstration Program (ARDP) där de kan få stöd med upp till 2 GUSD.





Ryska SMR

Rosatom har utgått från den reaktor som konstruerats för ryska isbrytare och modifierat den för SMR-bruk. Den första konstruktionen var ”flytande” – Akademik Lomonosov – och bogserades till Pevek i Sibirien för att försörja dem med el och värme. Rosatom har gått vidare och nyttjar i princip samma konstruktion för landbaserad SMR.

Ursprungskonstruktionen har 2 st KLT-40S reaktorer utvecklade för isbrytare. Vardera 150 MWt och 35 MWe. De utvecklar en större variant med 2 st RITM-200 reaktorer vardera 50 MWe, med 20% anrikning. Härden tänker de byta vart 6:e år i stationär tillämpning.

Stora reaktorer

LAR

Stora reaktorer - LAR

Flera stora reaktorer – LAR (LArge Reactors) – finns på marknaden. Fem konstruktioner har byggts under de senaste åren och byggen av dessa fortgår:

1. EPR, ursprungligen fransk – tysk PWR-konstruktion, numera franskt.
2. APR-1400, en koreansk PWR-konstruktion med ursprung i amerikanska Combustion Engineerings PWR-konstruktion.
3. AP1000, en amerikansk PWR-konstruktion utvecklad av Westinghouse.
4. Hualong One, en kinesiskt PWR-konstruktion.
5. Rosatom VVER 1200, en rysk PWR-konstruktion.

Ytterligare två konstruktioner erbjuds på marknaden, men har inte byggts och inga byggen pågår:

1. ESBWR, en kokvattenreaktor från GE Hitachi.
2. APWR, en PWR från Mitsubishi.

En sammanställning av några data för dessa stora reaktorer finns i en tabell över stora reaktorer.

Marknaden justeras något för närvarande eftersom nybyggen är för få i förhållande till antalet leverantörer. Vidare är en del leverantörer starkt statsstödda, vilket försvårar rättvisande konkurrens.

Viktiga marknadsändringar sker idag i USA, Storbritannien, Frankrike, Polen och Japan. Förhållandena i Kina är stabila och kärnkraftverk byggs i rask takt.

Japan

Mitsubishi har med japanska statens samtycke och stöd startat att ta fram en 1 200 MWe PWR (se bilden nedan). Bakom utvecklingen står främst fyra japanska kraftföretag (Kansai Electric Power, Hokkaido Electric Power, Shikoku Electric Power och Kyushu Electric Power) som samtliga driver tidigare PWR-konstruktioner från Mitsubishi. Avsikten är att denna anläggning ska kunna tas i bruk mitten av 2030-talet.

Även Hitachi-GE Nuclear Energy (ägt till mer än 80% av Hitachi) ska utveckla en ny reaktor som ska vara klar mitten av 2030-talet.

Bägge dessa nyutvecklingar är ett resultat av att japanska staten i augusti 2022 annonserade att de ska stödja utvecklingen av nästa generation kärnkraftsreaktorer för att klara elförsörjningen utan ökande CO_2-utsläpp. Satsningen fokuserar på lättvattenreaktorer som kan nyttja de leveranskedjor som redan finns (tidsaspekten). [Bilden visar japanske industriministern (m. m.) Yasutoshi Nishimura som tillkännagav inriktningen]. Den är en del i den japanska satsningen att bli CO_2-neutral 2050 (det s. k. GX-programmet, den gröna transformationen) som premiärministern Fumio Kishida tillkännagav 24 augusti 2022. I detta program ingår att bruka kärnkraft för 20-22% av elförsörjningen 2030. En liten översikt över japanska kärnkraftverk (september 2022) ges i tabellen ovan.

I drift	10
Förbereds för återstart	10
Har ännu inte ansökt om återstart	9
Kommer att avvecklas	24

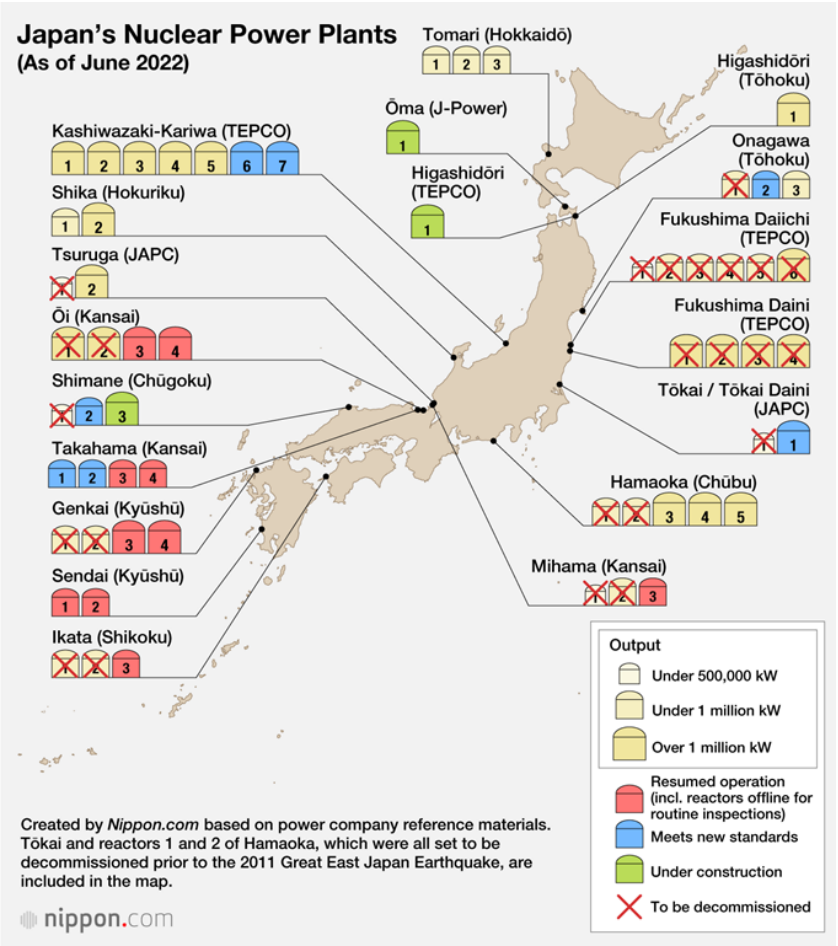
Hitachi:s utveckling tillsammans med GE tycks luta åt en BWR med självcirkulation liknande ESBWR-konstruktionen.

Vi behöver komma ihåg att det är 13 år sedan en ny reaktor startades senast i Japan (Tomari 3).

Fukushima-olyckan ligger fortfarande som en begränsande faktor för utvecklingen av japansk kärnkraft. Hur det ser ut i Fukushima idag framgår av bilden.

Bilden visar Fukushima i februari 2021. Stora lagringsutrymmen för radioaktivt vatten.

Så här såg kärnkraftsläget ut i Japan i juni 2022:



USA

I USA satsas på SMR och på andra avancerade reaktorer. Listan är lång, men här behandlas den inte närmare eftersom vi har fokus på lättvattenreaktorer.

NuScale har stöd för att bygge en anläggning i Utah. Kraftföretaget Utah Associated Municipal Power Systems (UAMPS) genomför det s. k. Carbon Free Power Project där NuScale:s VOYGR ska byggas med den första modulen driftklar 2029. Resterande moduler ska vara på plats året efter. Allt enligt planen. Department of Energy (DOE) har stöttat tillståndsbehandlingen med 16,6 MUSD och i oktober 2020 beslöt DOE att med 1,355 GUSD i stöd (delfinansiering) medverka till att anläggningskonstruktionen kommer på plats. Den slutliga ordern på anläggningen förväntas bli tecknad under 2022.

Två AP1000 av Westinghouse konstruktion håller på att färdigställas som Vogtle 3 och 4 i delstaten Georgia efter många problem i genomförandet. De beräknas vara klara i början respektive slutet av 2023. Det finns inga långt gångna planer på ytterligare stora kärnkraftsreaktorer.

Storbritannien

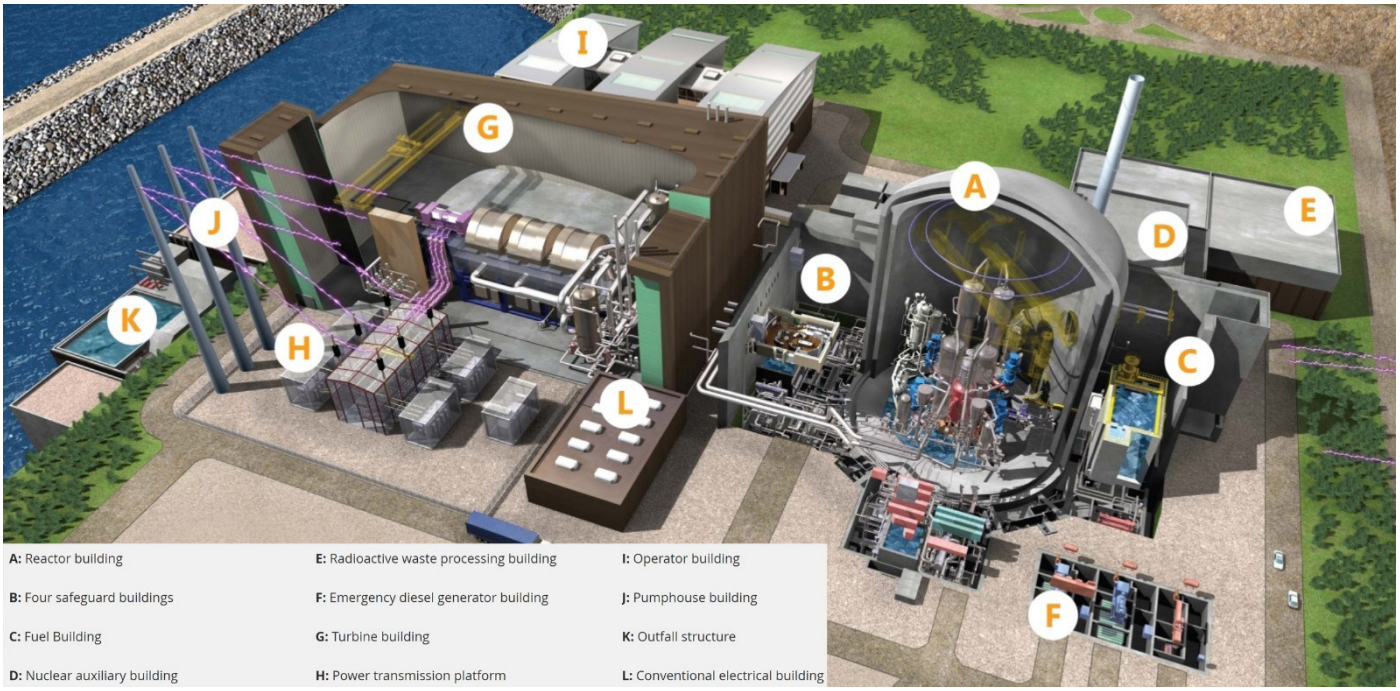
Två EPR byggs av brittiska delen av EDF som Hinkley Point C på västkusten i Somerset. Medfinansiärer (33,5%) är China General Nuclear Power Group (CGN).

Konstruktionen visas i avsnittet om EPR.

EDF kommer att bygga två lika anläggningar vid Sizewell C, vardera på 1 670 MWe (regeringens godkännande att bygga kom 20 juli 2022). Även här är kinesiska CGN 20% delägare.

Kinesiska CGN har ansökt att få bygga två stycken Hualong One vid Bradwell nordöst om London. Reaktorkonstruktionen är sedan februari 2022 principiellt godkänd för att byggas i Storbritannien. Däremot har brittiska regeringen tveksamheter mot att låta CGN få stort inflytande på elproduktionen i Storbritannien.

Tidigare har Westinghouse / Toshiba och Hitachi misslyckats med att få sina anläggningar byggda i Storbritannien.



EPR som den byggs i Hinkley Point

Sizewell C som det framställs idag. (Ligger vid Sizewell A och B som syns till vänster i figuren, dvs på Englands östkust i östra Suffolk, nordöst om London).

Frankrike

Inom ramen för Frankrike 2030 har president Macron i oktober 2021 annonserat att kärnkraften ska byggas ut samtidigt som en del äldre enheter avvecklas. Den första av de 10 punkterna är att små innovativa reaktorer med bättre avfallshantering ska stödjas med 1 GEURO fram till 2030.

Den EPR som byggs i Flamanville är starkt försenad och har flerfalt överskridit sin ursprungliga budget. Driftstarten är nu satt till slutet 2023.

Enligt den energiplan som publicerades i februari 2022 bör 6 nya EPR byggas i Frankrike. Därtill ska man studera möjligheten att bygga ytterligare 8 stycken. Målet är att tillföra 25 GW ny kraft från kärnkraftverk till 2050. Den första nya EPR-en ska stå klar 2035. Befintliga kärnkraftverks brukstid ska förlängas till 50 år. [Därtill 100 GW solkraft, 36 GW landbaserad vindkraft och 40 GW havsbaserad vindkraft till 2050].

EDF har publicerat planen att bygga de 6 nya EPR (EPR 2) som två enheter vardera i Penly, Gravelines och Bugey eller Tricastin. Beslutet vill de ta efter att Flamanville 3 är på nätet. Kostnaden för de sex nya blocken har de uppskattat till 46 GEUR (75 – 80 GSEK/st).

Nederländerna, Polen, Tjeckien, Ungern, Finland

Ny kärnkraft utreds och planeras i alla dessa länder. I *Finland* har projektet i Hanikivi avslutats

efter Rysslands invasion av Ukraina. Finland följer föredömligt systematiskt arbetet med SMR. Till exempel deltar STUK tillsammans med tjeckiska SUJB i det franskledda arbetet att ”typgodkänna” NUWARD och sätta en standard för sådana typgodkännanden.

I *Polen* utreds såväl stora kärnkraftverk som SMR. För närvarande söks partner till att bygga 6-8 GW kärnkraft. Målet är att kunna driftsätta nytt kärnkraftverk 2033. Under 2021 har amerikanerna erbjudit hjälp att bygga AP1000 (Westinghouse och Bechtel) vilket konkretiserades i ett erbjudande i september 2022 från dessa parter att bygga 6 st AP1000. I oktober 2021 erbjöd EDF att bygga 6 st EPR och i April 2022 erbjöd sig Koreanska KHNP att bygga 6 st APR-1400 med första driftstart 2033 (och finansiera 20-30%). SMR utreds även det. Företag som är beroende av stabil elförsörjning genomför sådana utredningar. Kontakterna är med såväl GE Hitachi som NuScale.

I *Nederländerna* har regeringen sedan slutet av 2021 ambitionen att bygga kärnkraftverk som komplement till sol- och vindkraft. De avser avsätta 500 MEUR för sådan planering fram till 2025. Deras Borsele är redan en av de äldsta anläggningarna i Europa. Redan slutet 2020 annonserade kraftföretaget EPZ att de vill bygga två nya block, varav en vid Borsele. Kostnaden för det vid Borsele uppskattades till 8 – 10 GEUR och det skulle kunna vara gjort på 8 år. Regeringen behandlar frågan.

I *Tjeckien* har regeringen godkänt fortsatt arbete med nya enheter. Tre bolag har godkänts för offerering av nytt kärnkraftverk: Westinghouse, EDF och KHNP. Målet är att ha ett kontrakt fastställt 2024 och driftstart 2036. Idag finns 6 reaktorer i drift vid Dukovany och Temelin. Kraftbolaget CEZ har förhandlat med Westinghouse, EDF och KHNNP angående två enheter. Förfrågan gick ut i mars 2022 och beslut väntas under 2024. Det kan mycket väl bli en enhet i Dukovany och en i Temelin. Den första enheten kan komma att byggas vid Dukovany och komplettera de fyra ryskbyggda PWR (510 MWe var) som finns där nu. CEZ har också tecknat överenskommelse med GE Hitachi om studier av BWRX-300 (SMR) liksom med NuScale. Mot slutet av 2020 tecknade de även ett avtal med Rolls Royce om att studera deras SMR.

Redan 2014 beslöt *Ungern* att anskaffa ytterligare två ryskbyggda VVER-1200 till Paksanläggningen, som idag har fyra VVER-440 med vardera 500 MW effekt. I augusti 2022 accepterades konstruktionen av den ungerska myndigheten. De nya enheterna ska vara i drift med början 2030 till en kostnad som uppskattats till 12,5 GEUR – i stora stycken finansierat av ryska leverantören Rosatom.

Kina

I Kina byggs kärnkraftverk på löpande band. Främst byggs deras Hualong One där de första två är Fuqing-5 och -6, varav den första togs i drift januari 2021. Ytterligare 8 st av denna konstruktion är under byggnad. Dessutom har två st byggts i Pakistan och anläggningstypen är föreslagen för Bradwell i England.

Förutom sin egen konstruktion, byggs den ryska VVER-1200 i Kina. De senast påbörjade är Tianwan-7 och -8.

I Kina har 4 Westinghouse-konstruerade AP100-anläggningar tagits i drift (2 vid Sanmen år 2018

och 2 vid Haiyang samma år). Ytterligare två av den kinesiska varianten CAP1000 ska byggas vid vardera av dessa två platser.

Kina har också tagit två EPR i drift vid Taishan (2018 och 2019). Problem med bränsleskada har medfört långt driftstopp (ett år) för Taishan-1. Anläggningen är åter i drift.

Kina har också driftsatt (2021) en pebble-bed-reaktor med helium som energibärare till en sekundär ångkrets. Effekten är 200 MW. Detta är faktiskt en ”gammal” teknik som nyttjades en kort tid i Hamm-Uentrop i Tyskland (1985 – 1989 i den 300 MW stora THTR som dessutom var konstruerad för att använda torium).

Sammanlagt finns idag 55 reaktorer i drift och 18 under byggnad (ändras nästan dagligen).

Kina håller dessutom sedan juli 2021 på att bygga den första landbaserade SMR (ACP100) i världen – deras Linglong-1. De räknar med att det huvudsakliga bygget kommer att ta 20 månader varefter installationerna tar vid.

Övriga länder

I *Turkiet* bygger Rosatom fyra VVER-1200 vid Akkuyu. Den första ska tas i drift 2023. Rosatom bygger, driver och levererar ström (t. o. m. äger även om det är oklart hur).

I *Bangladesh* bygger också Rosatom två block varav det första ska vara klart 2023. Likaså har Rosatom goda kontakter med *Egypten* där fyra enheter ska byggas 32 mil nordväst om Kairo vid El Dabaa. Grunden började gjutas i juli 2022 för den första enheten. Koreanska KHNP är en kontrakterad underleverantör.

I *Sydkorea* byggs Shin Hanul 2 samt Shin Kori 5 och 6 (Shin betyder Ny) varav den första blir klar 2023. Alla av deras modell APR-1400.

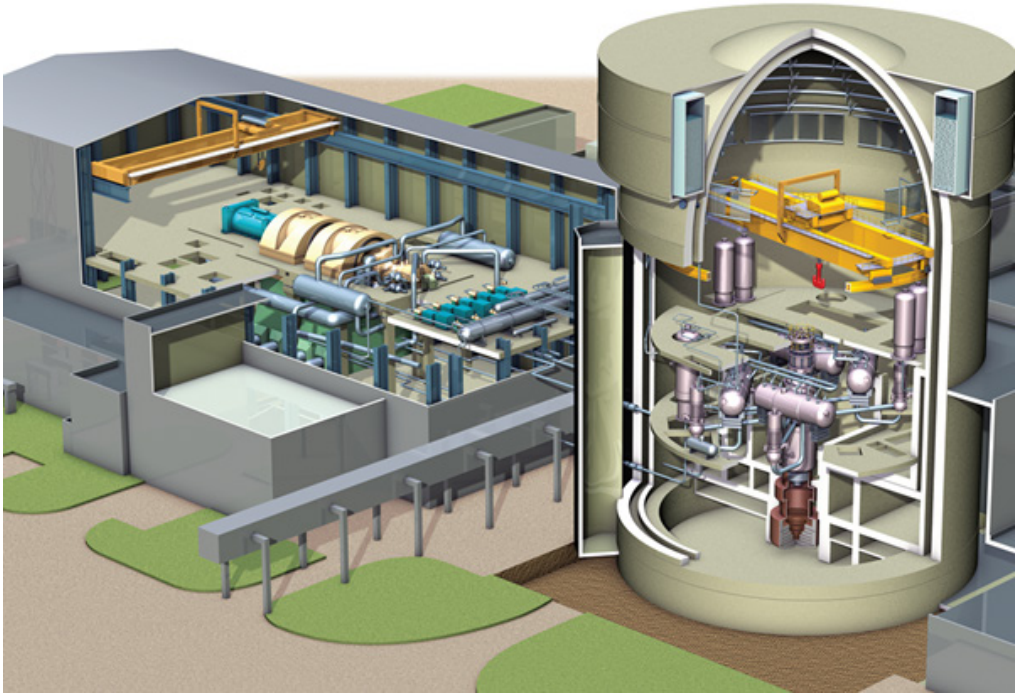
Bilden visar de två första APR-1400 vid Shin-Hanul. Nr 1 anslöt till nätet i juni 2022.

Indien har 22 enheter i drift och ett antal under byggnad, bl. a. i Kudankulam där fyra ryska VVER

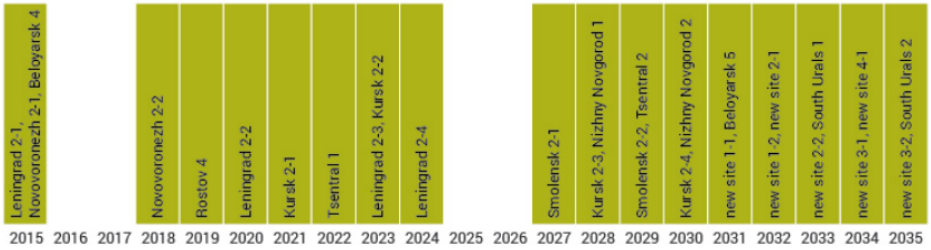
V-412 (AES-92) byggs. Redan 2017 beslöt regeringen att bygga (och gav tillstånd till) 10 enheter av den indiska tungvattenreaktormodell som levererar 700 MW uteffekt. Platserna är Kaiga, Gorakhpur (Haryana Anu Vidyut Praiyonjan), Mahi Banswara (Rajasthan) och Chutka (Madhya Pradesh).

I *Belarus* har nyligen två ryskbyggda VVER-1200 tagits i bruk.

I *Ryssland* finns 32 enheter i drift och 3 är under byggnad. Relativt nyligen drifttagna är Leningrad 2-1 och 2-2, bägge VVER-1200. Därtill Novovoronezh 2-1 och 2-2 av samma principiella konstruktion (de kallas även VVER V-491, V-392M).



Även Rostov-4 (äldre VVER V-320) är nyligen driftsatt (2018). Planerna framgent ser ut som:



I *Förenade Arabemiraten (Abu Dhabi)* byggs fyra koreanska APR-1400 vid Barakah. Den tredje började ladda bränsle i juni 2022 och den fjärde slutförde de varma proven samtidigt. Den första påbörjade sin kommersiella drift i april 2021 och den andra i mars 2022. Helt färdig levererar anläggningen 5,6 GW. Kontraktet skrevs 2009 och lär ha omfattat ca 20 GUSD.

Mer information om de stora reaktorerna

Egenskaper hos de stora reaktorerna sammanfattas här.

Reaktor	Uteffekt (MWe)	Licensiering	Byggnation	Kommentarer
EPR	1 650	Frankrike, Finland, Kina, Storbritannien	Kina och Finland Storbritannien och Frankrike (pågår)	Stor och komplex. Enligt erfarenheter svårbyggd. EPR 2 framtagen för att förenkla. Kraftfullt franskt stöd. Huvudleverantörskapet ändrat i närtid.
AP1000	1 110	USA, Kina, Storbritannien	Kina, USA (pågår)	Första enheterna svårbyggda. Drifttagning och hittillsvarande drift problemfria. Gott stöd från USA. Kinesiska CAP1000 en vidareutvecklad version med erfarenheter från första fyra AP1000 i Kina.
CAP1400 (Guohe One)	1 400	Kina	Kina (Shidaowan) (pågår sedan 2014)	CAP1400 är en vidareutveckling av CAP1000 och lanserades i september 2020. I Kina utreds upp till CAP2100.
APR-1400	1 400	Republiken Korea, Förenade Arabemiraten, USA	Republiken Korea, Förenade Arabemiraten	Nuvarande status i en stegvis utveckling med ursprung i Combustion Engineerings PWR. Byggs tillförlitligt enligt plan av vältränat konsortium i Korea och Förenade Arabemiraten.
VVER-1200	1 200	Ryssland, Kina, Indien, Bangladesh, Belarus (Finland, Turkiet – delvis)	Ryssland, Kina, Indien, Bangladesh, Belarus Turkiet, Egypten, Ungern, Indien (pågår)	Byggs tillförlitligt enligt plan. Osäkert leveransomfång (delar av leveranser genomförda av västeuropeiska bolag). Omfattande restriktioner till följd av krig.
Hualong One	1 170	Kina, Pakistan, Storbritannien	Kina, Pakistan Storbritannien (övervägs)	Byggs tillförlitligt enligt plan. Besvärad av invändningar avseende (icke nukleär) säkerhet.
ABWR	1 380	USA, Japan, Storbritannien	Japan Taiwan (ofärdig)	Anläggning som kan levereras av GE Hitachi, Hitachi, Toshiba (begränsat). Anläggningen ej uppdaterad till dagens krav på standard.
APWR	1 530	Japan	Ingen och ej heller pågående.	Vissa likheter med EPR (utveckling tidvis i samråd). Japanskt välstrukturerad och troligen enklare att bygga. Ovisat. Hemmaversion i Tsuruga förefaller utebli.
ESBWR	1 600	USA	Ingen och ej heller pågående.	Attraktiv konstruktion med avseende på kostnader. Flertal ”första-av-ett-slag”-funktioner medför önskemål om första leverans på hemmamarknad med uttalat stöd.

PWR är som synes helt dominerande bland byggbara stora reaktorer.

På följande sidor visas (osorterat) bilder på några av de angivna modellerna.

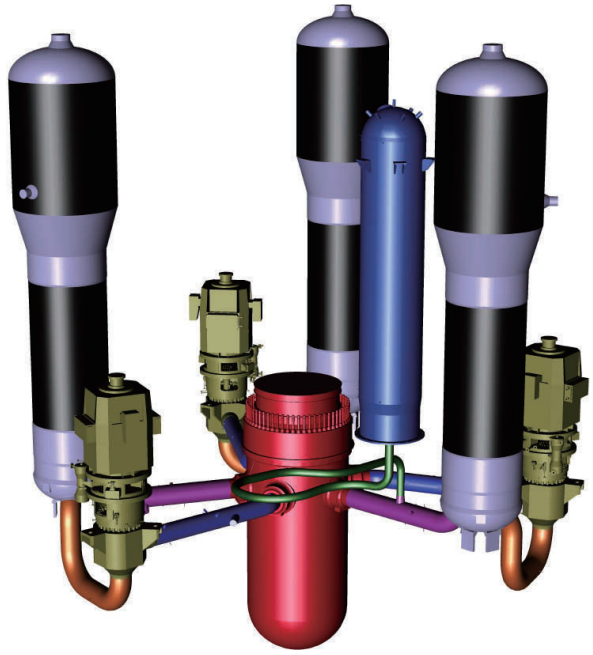
HUALONG One

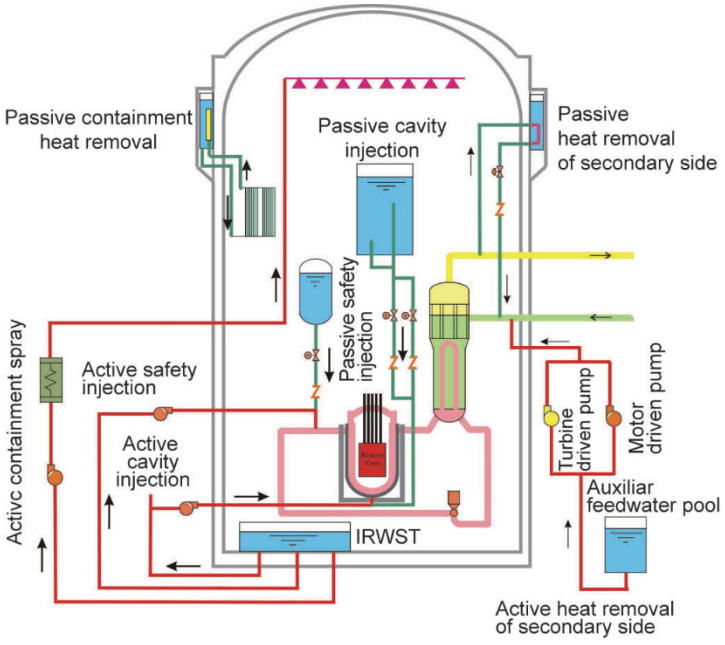
Fuqing-5, -6 är bägge Hualong One PWR (januari 2021 respektive februari 2022)

Byggnation pågår av två till i Changjiang

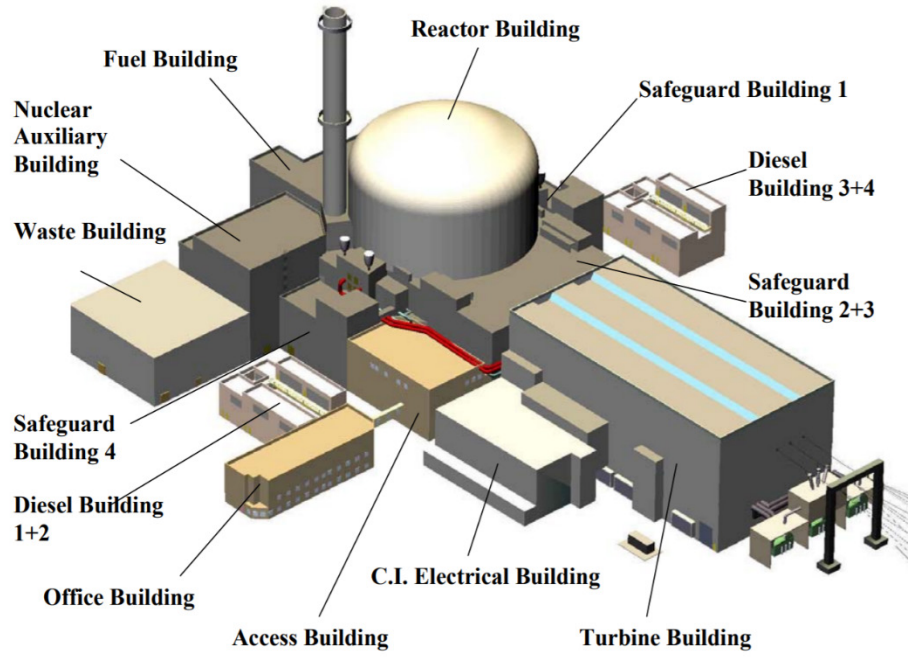
Likaså Karachi-2 och -3

Och planerat för UK Bradwell

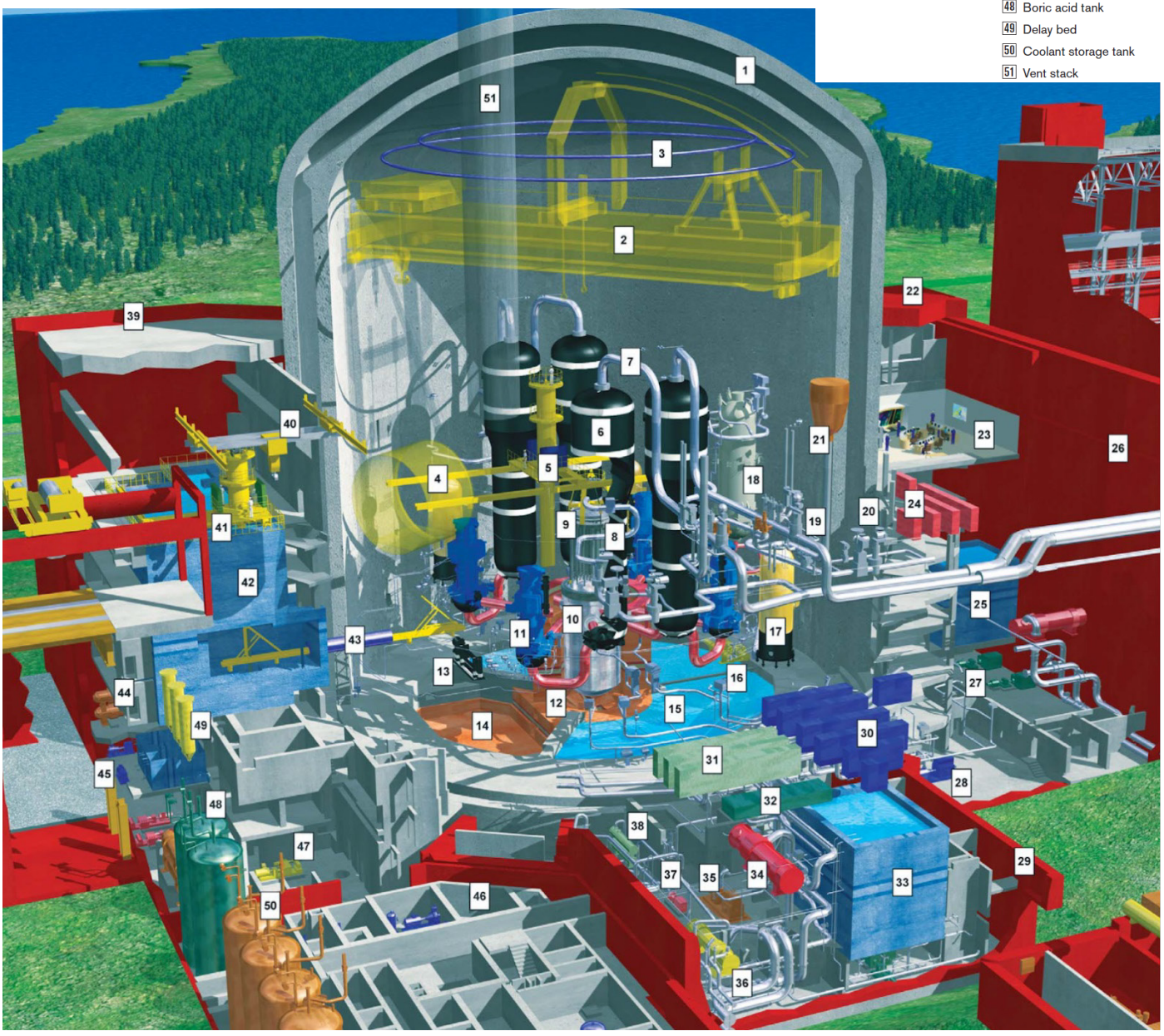




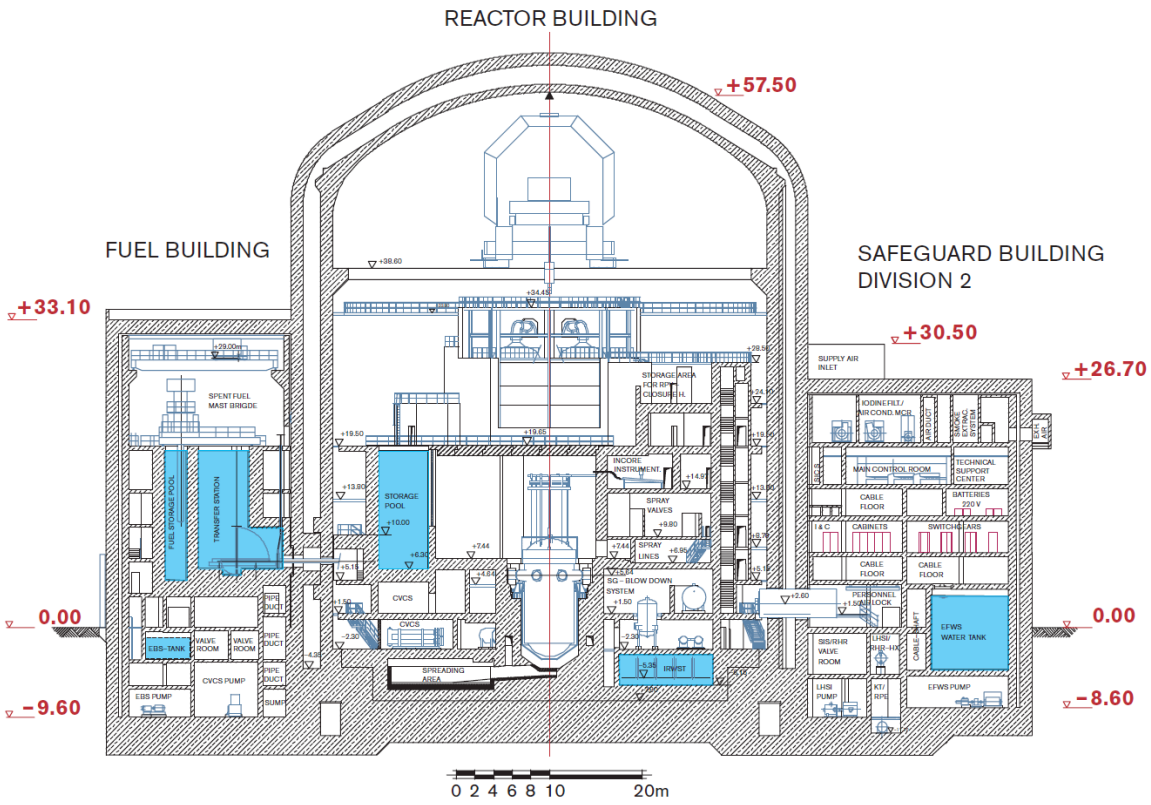
EPR



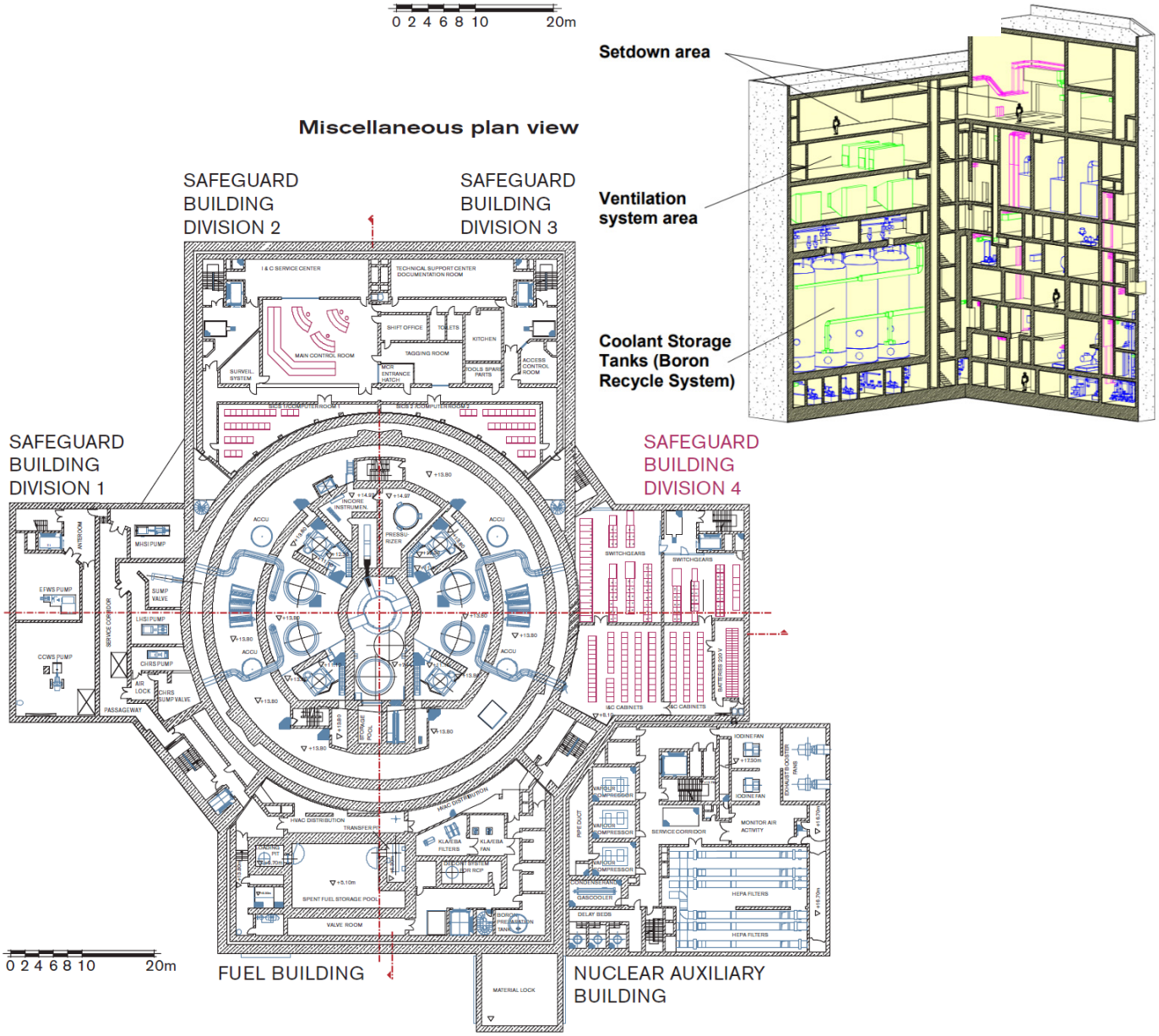
1. **Reactor building: inner and outer shell**
2. Polar crane
3. Ultimate heat removal system: sprinklers
4. Equipment hatch
5. Refueling machine
6. Steam generator
7. Main steam lines
8. Main feedwater lines
9. Control rod drives
10. Reactor pressure vessel
11. Reactor coolant pump
12. Reactor coolant piping
13. CVCS heat exchanger
14. Corium spreading area
15. In-containment refueling water storage tank
16. Residual heat removal system, heat exchanger
17. Safety injection accumulator tank
18. Pressurizer
19. Main steam valves
20. Feedwater valves
21. Main steam safety and relief valve exhaust silencer
22. **Safeguard building division 2**
23. Main control room
24. Computer room
25. Demineralized water pool, division 2
26. **Safeguard building, division 3**
27. Emergency feedwater pump, division 3
28. Medium head safety injection pump, division 3
29. **Safeguard building, division 4**
30. Switchgear, division 4
31. I & C cabinets
32. Battery rooms, division 4
33. Demineralized water pool, division 4
34. CCWS heat exchanger, division 4
35. Low head safety injection pump, division 4
36. Component cooling water surge tank, division 4
37. Ultimate heat removal system pump, division 4
38. Ultimate heat removal system heat exchanger, division 4
39. **Fuel building**
40. Fuel building crane
41. Spent fuel pool bridge
42. Spent fuel pool and fuel transfer pool
43. Fuel transfer tube
44. Spent fuel pool cooler
45. Spent fuel pool cooling pump
46. **Nuclear auxiliary building**
47. CVCS pump
48. Boric acid tank
49. Delay bed
50. Coolant storage tank
51. Vent stack



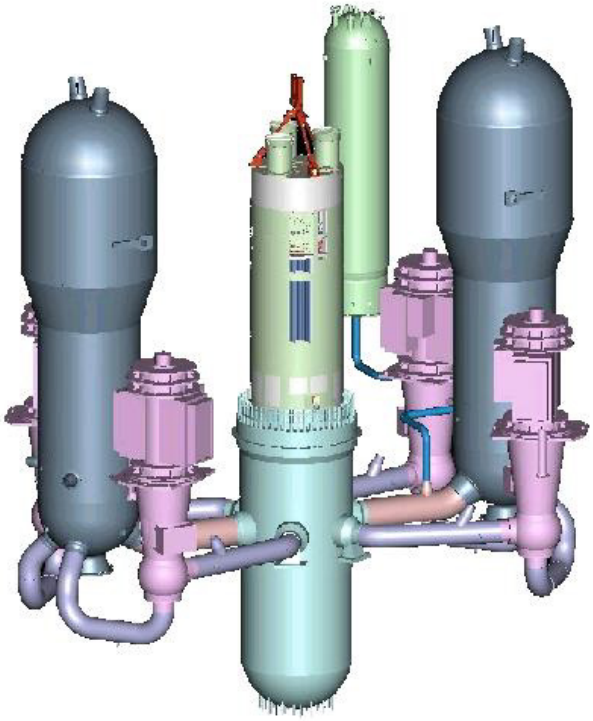
Nuclear Island building arrangement

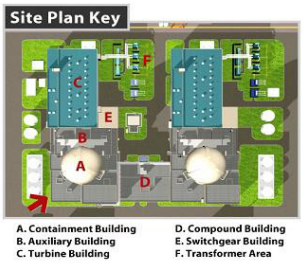


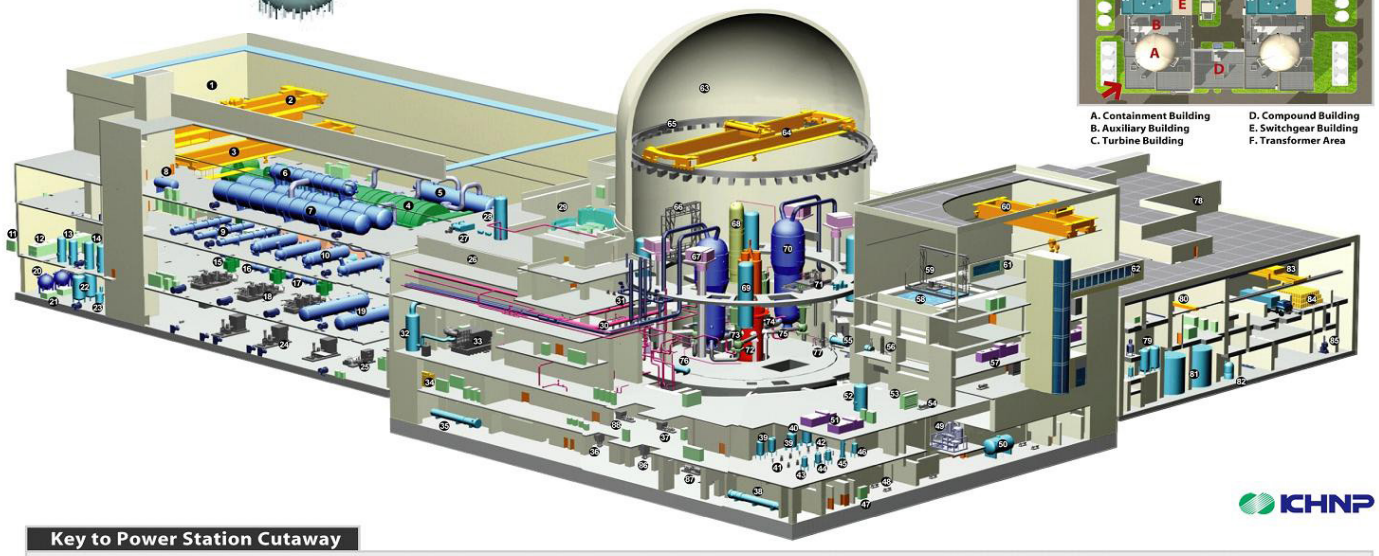
Miscellaneous plan view



APR-1400





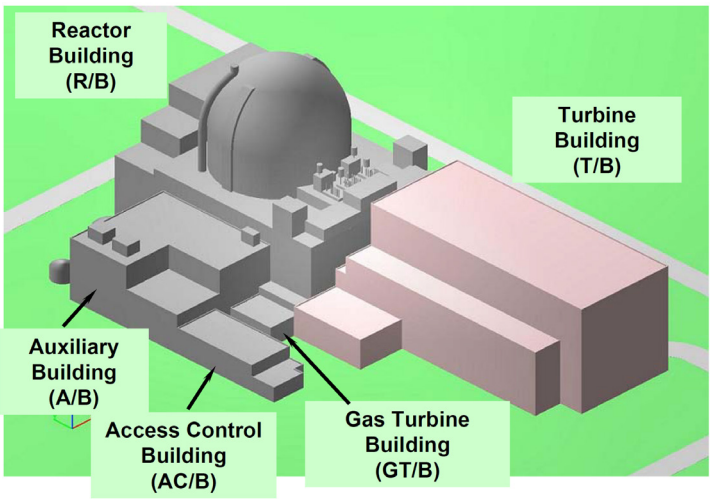


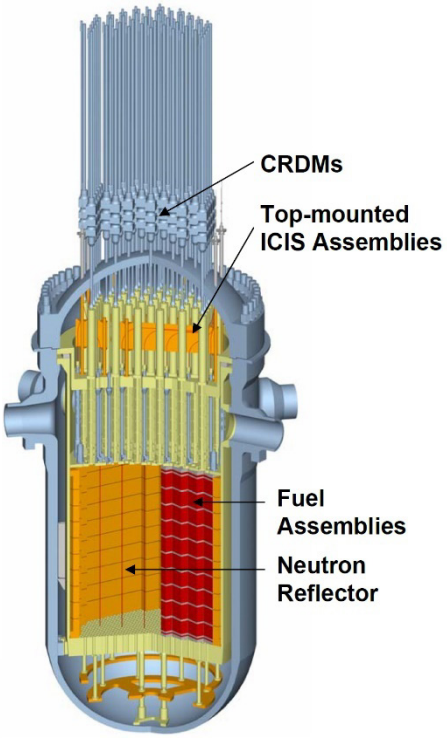
KHNP

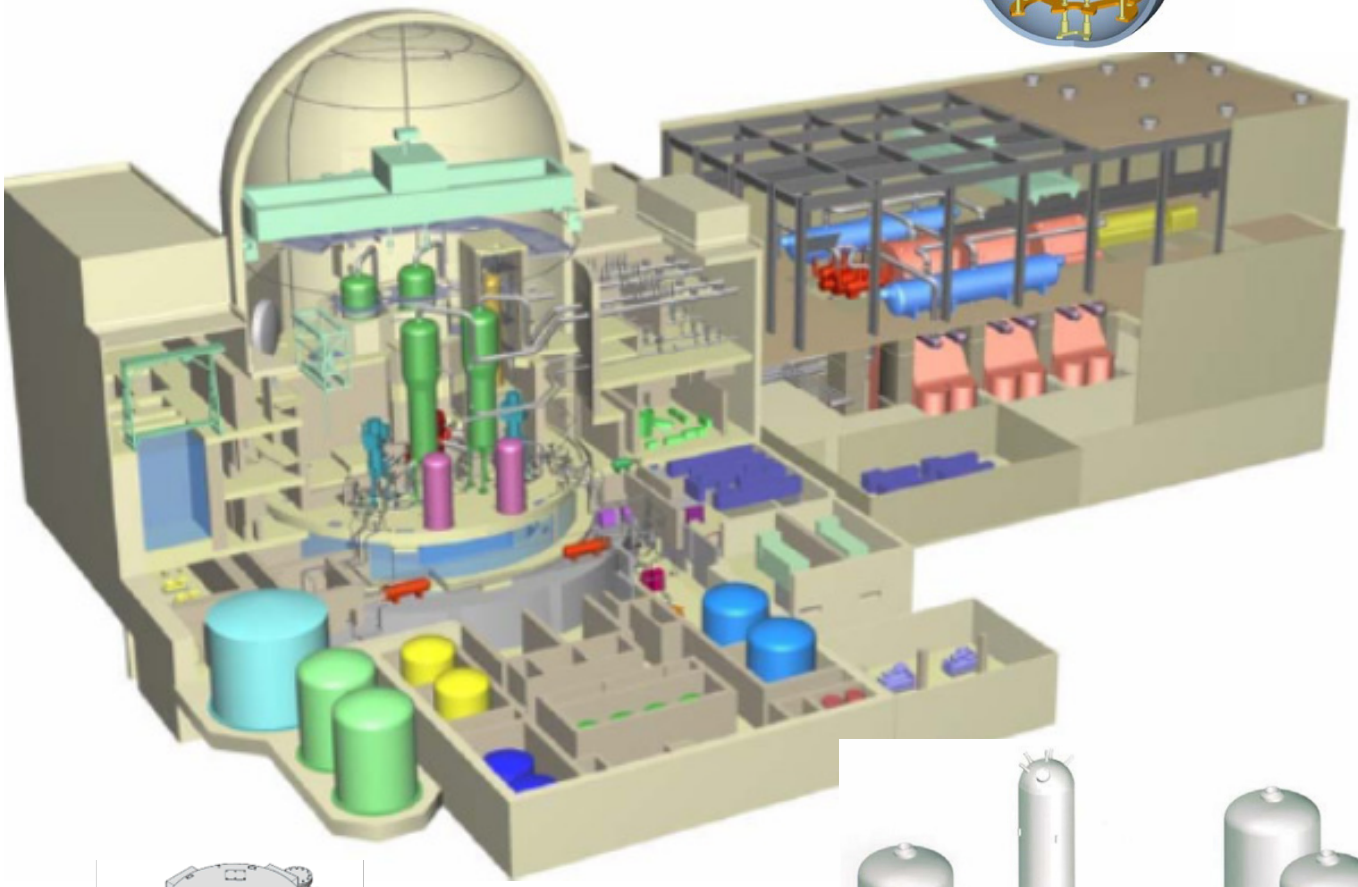
Key to Power Station Cutaway

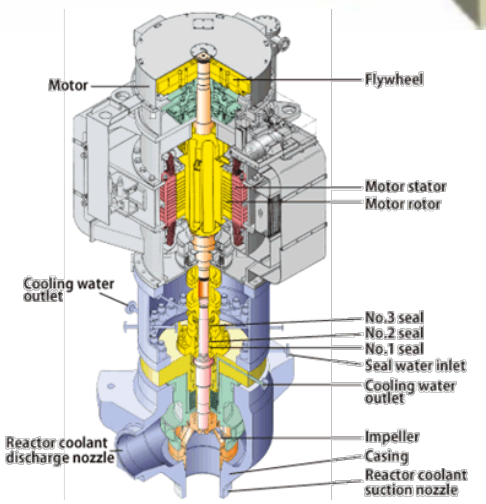
1. Turbine Building
2. Main Overhead Crane
3. Aux. Overhead Crane
4. Generator
5. Moisture Separator Reheater
6. Deaerator
7. Deaerator Storage Tank
8. TBCCW Surge Tank
9. LP Feedwater Heaters
10. HP Feedwater Heaters
11. Closed Loop Cooling System
12. Air Compressor
13. Air Receivers
14. Service Air Receiver
15. Feedwater Pumps Turbine Driven
16. Moisture Separator Drain Tank
17. Stage Reheater Drain Tank
18. Feedwater Pumps Turbine "A""B""C"
19. HP Feedwater Heaters
20. Cond. Polishing Mixed Bed Vessels
21. Cond. Polishing Resin Traps
22. Cation Regen. & Hold Tanks
23. Ammonia Day Tank
24. Feedwater Booster Pumps
25. Start-up FW Pump
26. Auxiliary Building
27. D/G Room Emergency Exhaust Fan
28. CCW Surge Tank
29. Main Control Room
30. Main Steam Line
31. Main Steam Safety Valve
32. Exhaust Silencer
33. Diesel Generator
34. 480V PNS Loadcenter
35. CS Heat Exchanger
36. CS Pump
37. Motor Driven Aux. Feedwater Pumps
38. SC Heat Exchanger
39. Spent Fuel Pool Clean-up Demin
40. SG Blowdown Mixed Bed Demin
41. Reactor Drain Filter
42. SGBD Filter
43. Pre-Holdup Ion Exchanger
44. Purification Ion Exchanger
45. Boric Acid Cond Ion Exchanger
46. Deborating Ion Exchanger
47. Process Radiation Monitor
48. Holdup Pump
49. Boric Acid Conc.
50. Equip. Drain Tank
51. Aux. Bldg. Controlled Area Exhaust ACU
52. Volume Control Tank
53. SFP Cooling Exchanger
54. SFP Cooling Pump
55. Fuel Transfer Tube
56. Fuel Transfer Carriage & Upender in Fuel Handling Area
57. Fuel Handling Area Emer Exhaust ACU
58. Spent Fuel Pool
59. Spent Fuel Handling Machine
60. Fuel Handling Area Overhead Crane
61. Viewing Area
62. Walkway
63. Containment Building
64. Polar Crane
65. Crane Rail
66. CEA Change Platform
67. RCFC Duct
68. Pressurizer
69. Safety Injection Tank
70. Steam Generator
71. Refueling Machine
72. Reactor Vessel
73. Reactor Coolant Pump
74. Reactor Coolant Piping Hot Leg
75. Reactor Coolant Piping Cold Leg
76. RCP Lube Oil Collector Tank
77. Fuel Transfer System Upender
78. Compound Building
79. Charcoal Delay Beds
80. Suspension Crane
81. Long Term Storage Tank
82. Low Activity Spent Resin
83. Traveling Bridge Crane
84. Waste Drum Storage Area
85. Solid Waste Compactor
86. SC Pump
87. SI Pump
88. Turbine Driven Aux. Feedwater Pump

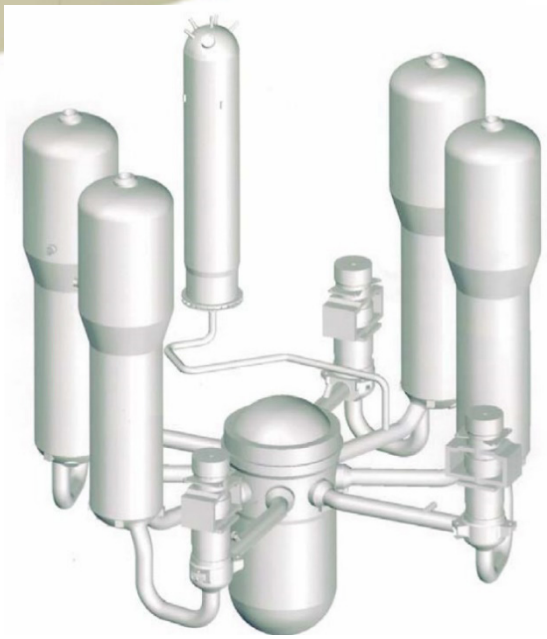
Misubishi APWR

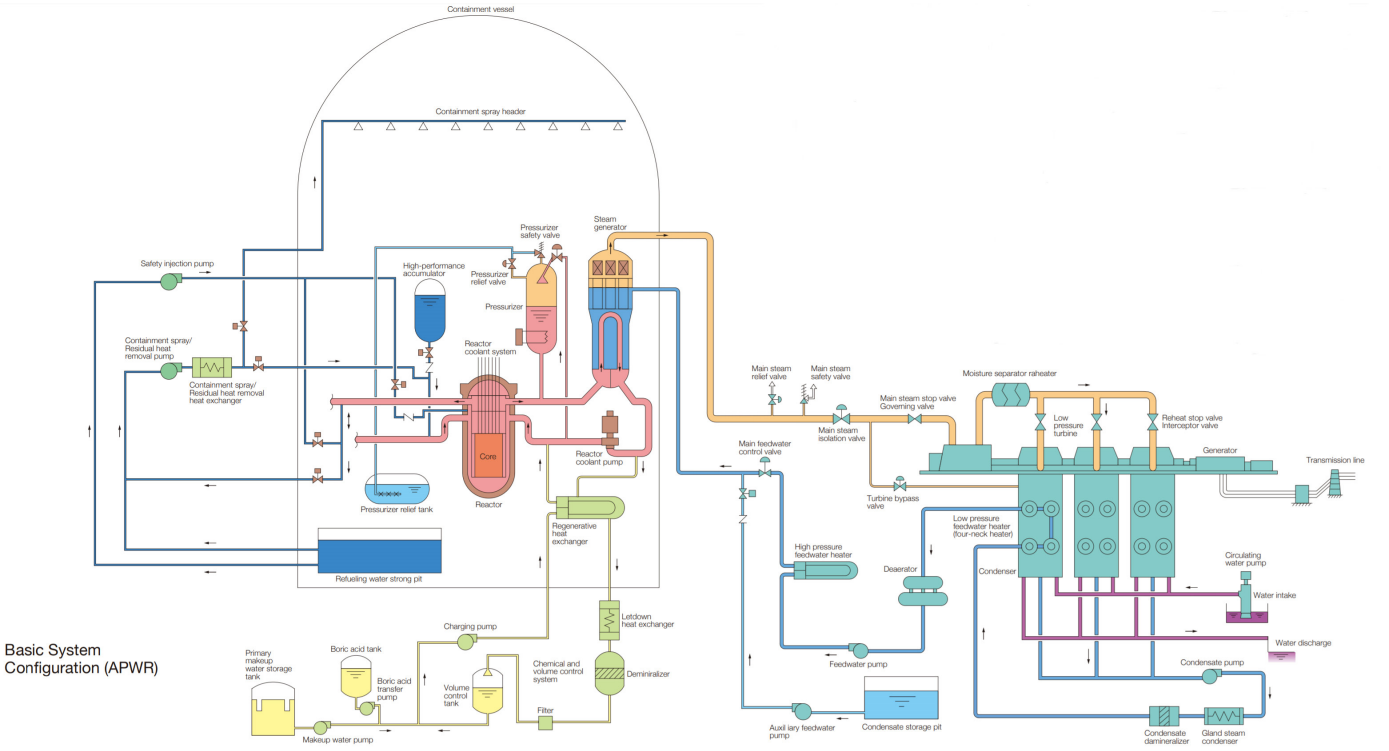




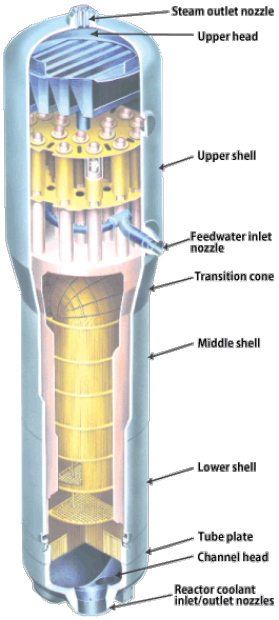


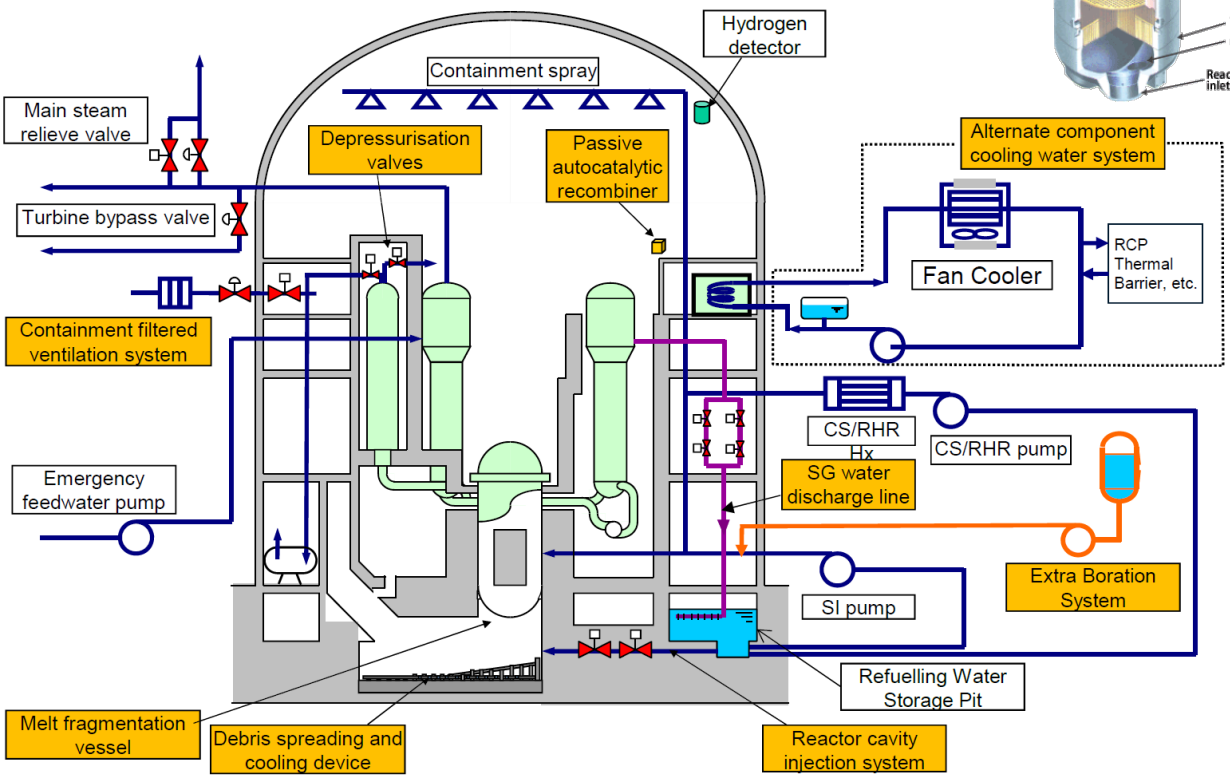




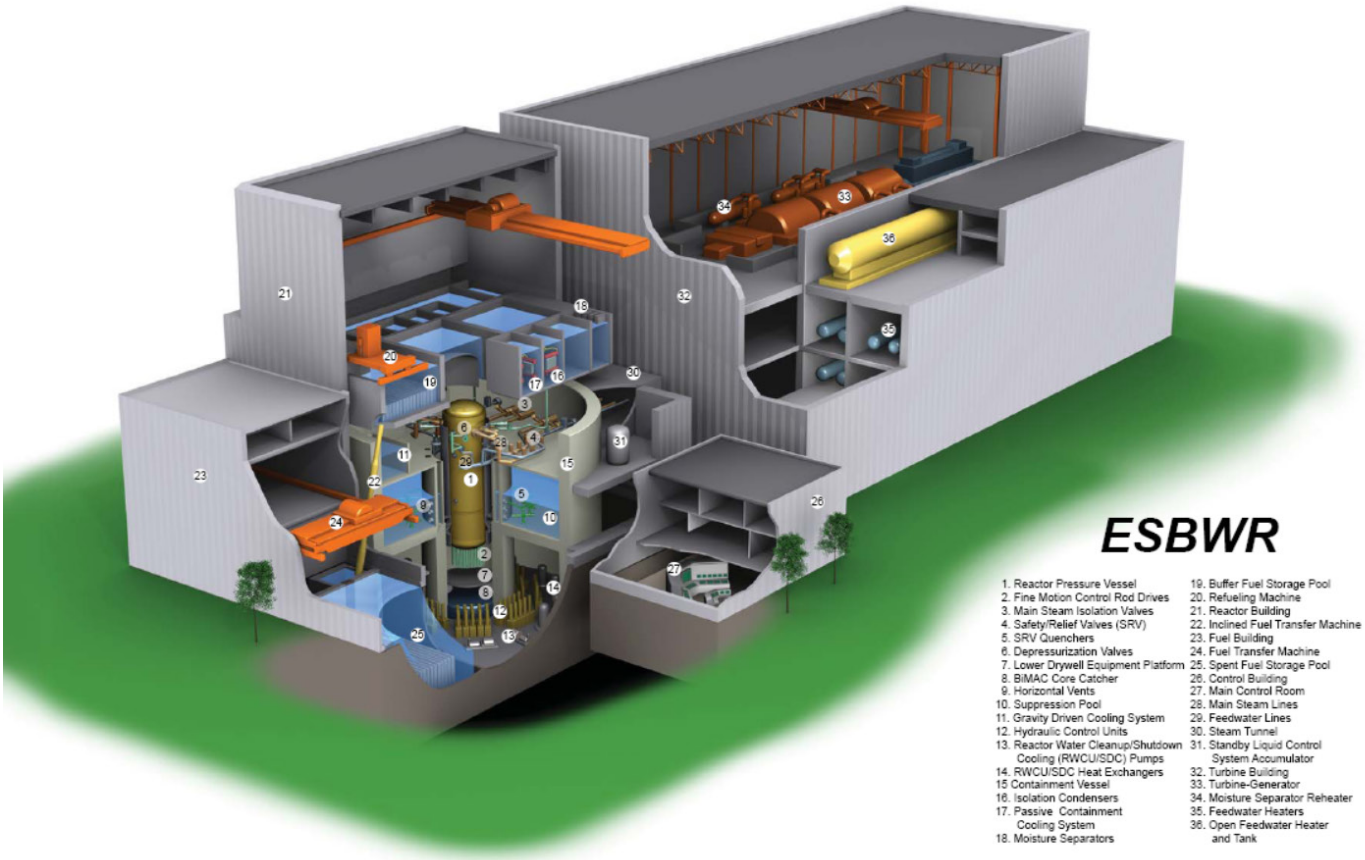


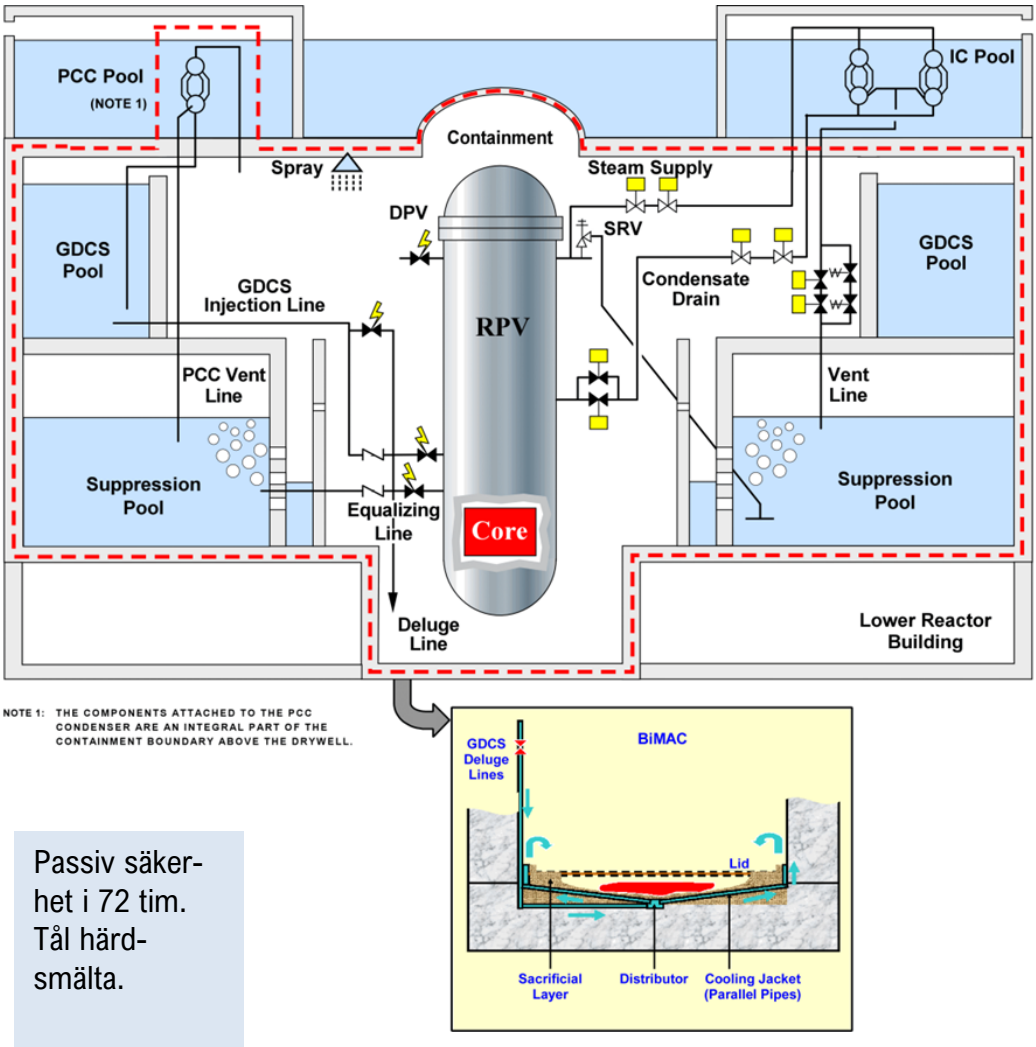
Basic System Configuration (APWR)





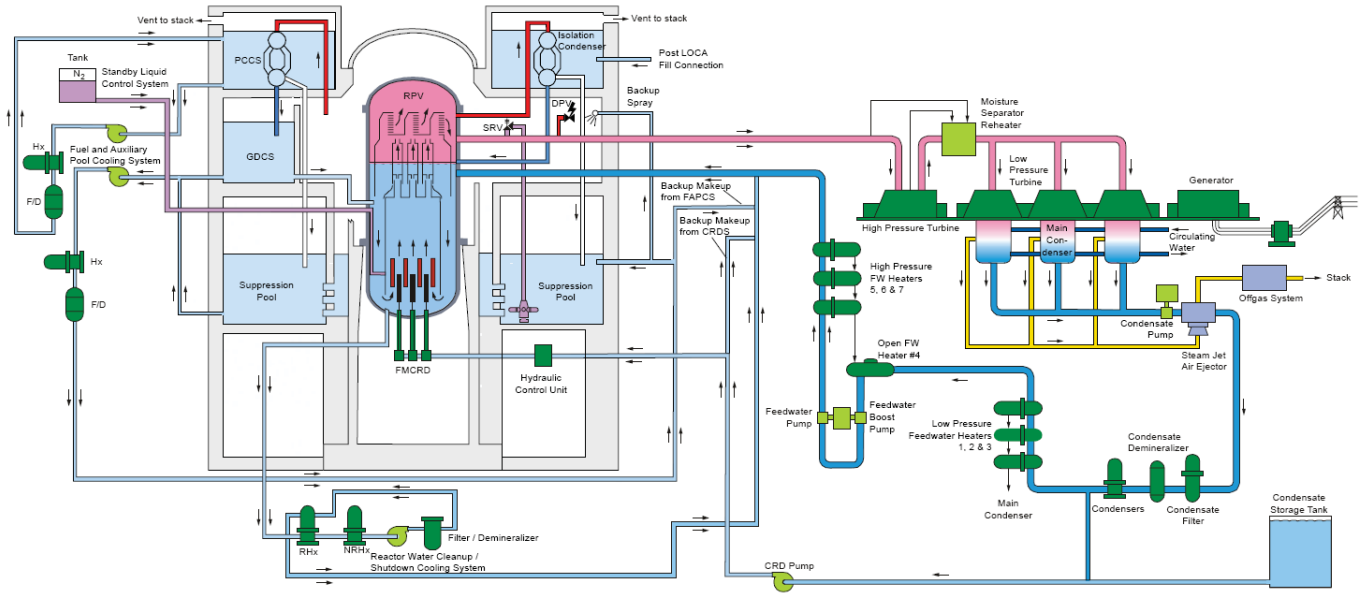
ESBWR

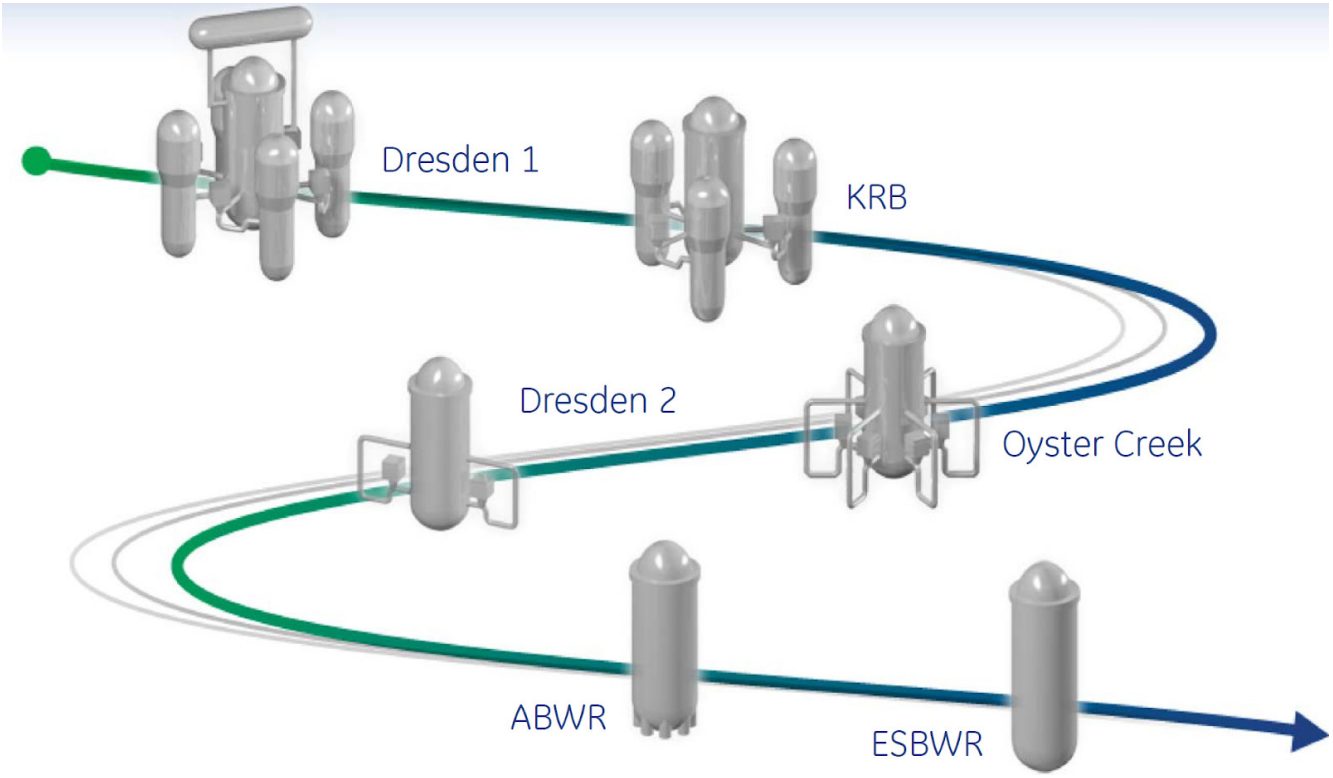




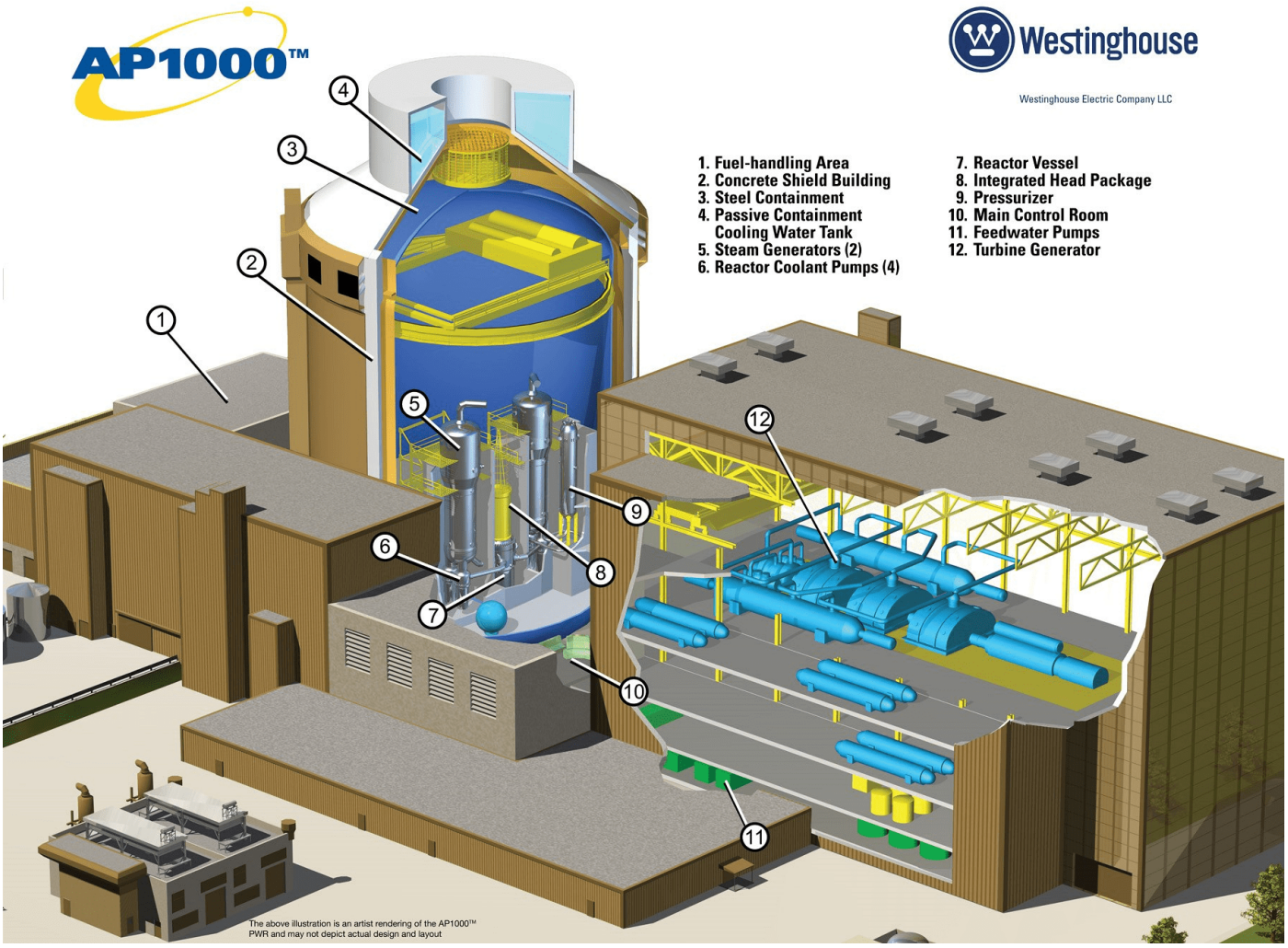
4 500 MWt
1 132 FA
3 m bränsle
269 SS
27,6 m hög

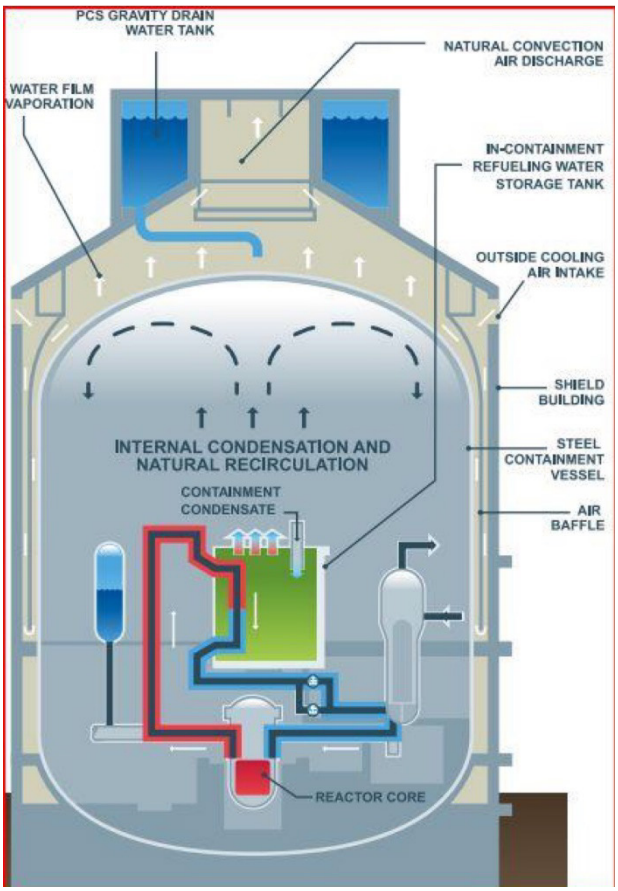
Passiv säkerhet i 72 tim.
Tål härdsmälta.

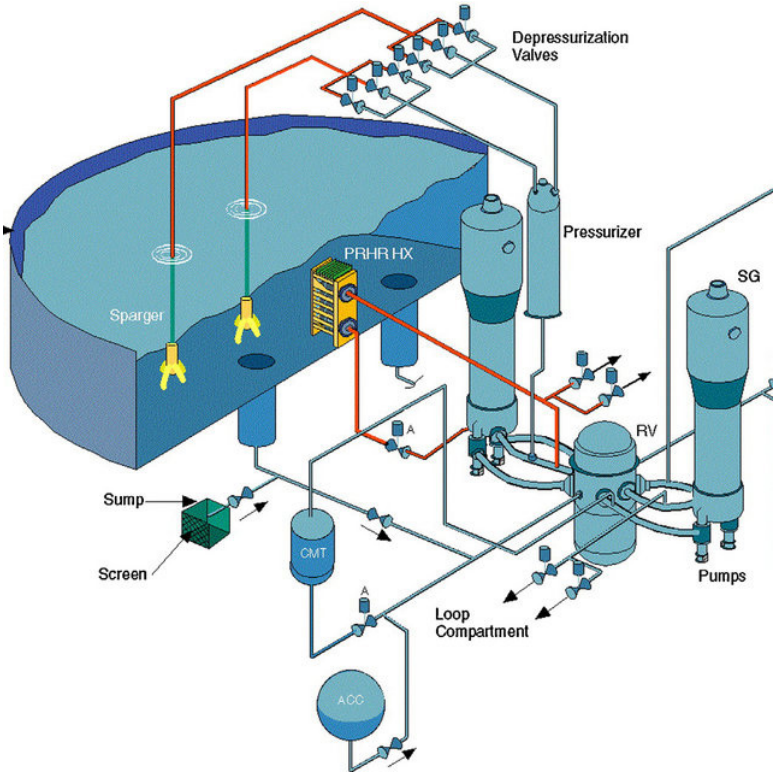

Vent to stack
Tank
N_2
Standby Liquid Control System
PCCS
Isolation Condenser
Vent to stack
Post LOCA Fill Connection
Backup Spray
RPV
DPV
SRV
Hx
Fuel and Auxiliary Pool Cooling System
F/D
GDCS
Backup Makeup from FAPCS
Backup Makeup from CRDS
Moisture Separator Reheater
Low Pressure Turbine
Generator
High Pressure Turbine
Main Con-denser
Circulating Water
Hx
F/D
Suppression Pool
Suppression Pool
High Pressure FW Heaters 5, 6 & 7
Stack
Offgas System
Condensate Pump
Steam Jet Air Ejector
FMCRD
Hydraulic Control Unit
Open FW Heater #4
Feedwater Pump
Feedwater Boost Pump
Low Pressure Feedwater Heaters 1, 2 & 3
Condensate Demineralizer
Main Condenser
Condensers
Condensate Filter
Condensate Storage Tank
RHx
NRHx
Filter / Demineralizer
Reactor Water Cleanup / Shutdown Cooling System
CRD Pump

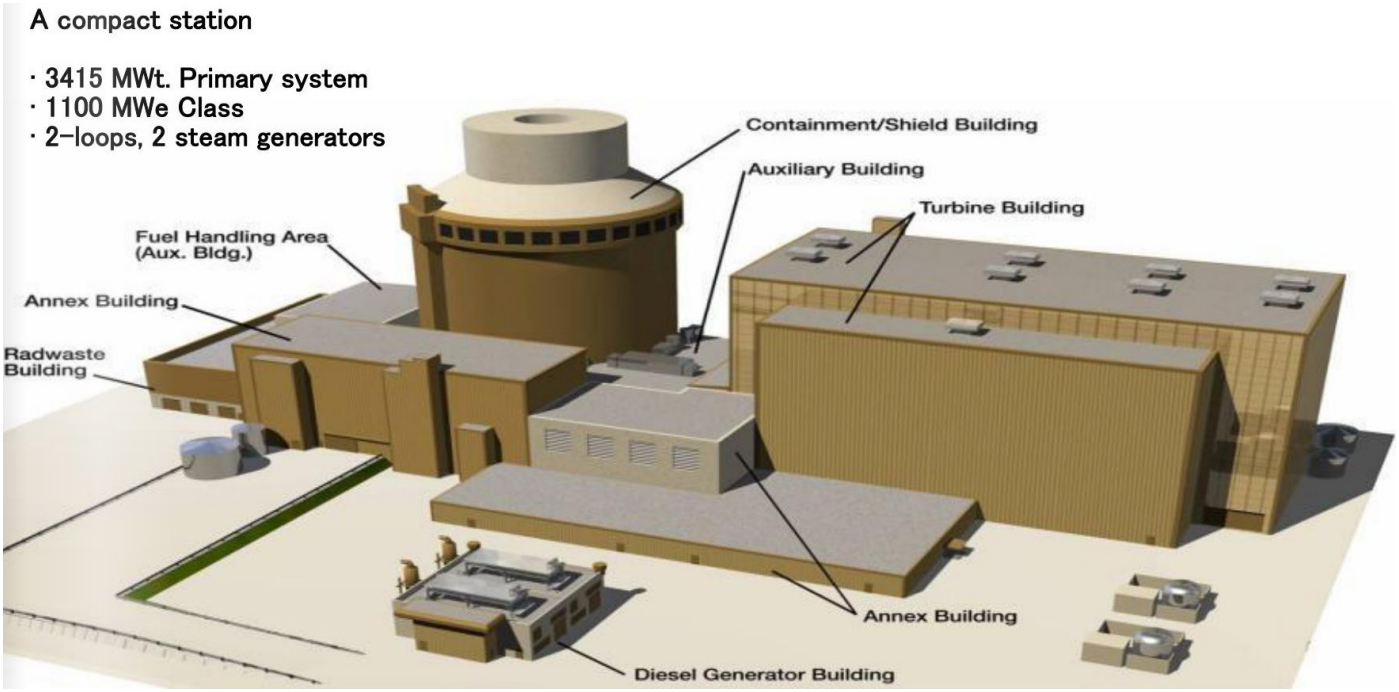

Dresden 1
KRB
Dresden 2
Oyster Creek
ABWR
ESBWR

AP1000


AP1000™
Westinghouse
Westinghouse Electric Company LLC
1. Fuel-handling Area
2. Concrete Shield Building
3. Steel Containment
4. Passive Containment Cooling Water Tank
5. Steam Generators (2)
6. Reactor Coolant Pumps (4)
7. Reactor Vessel
8. Integrated Head Package
9. Pressurizer
10. Main Control Room
11. Feedwater Pumps
12. Turbine Generator
The above illustration is an artist rendering of the AP1000™ PWR and may not depict actual design and layout


PCS GRAVITY DRAIN WATER TANK
NATURAL CONVECTION AIR DISCHARGE
WATER FILM VAPORATION
IN-CONTAINMENT REFUELING WATER STORAGE TANK
OUTSIDE COOLING AIR INTAKE
SHIELD BUILDING
INTERNAL CONDENSATION AND NATURAL RECIRCULATION
STEEL CONTAINMENT VESSEL
CONTAINMENT CONDENSATE
AIR BAFFLE
REACTOR CORE


Depressurization Valves
Pressurizer
PRHR HX
Sparger
SG
RV
Sump
Screen
CMT
Pumps
Loop Compartment
ACC

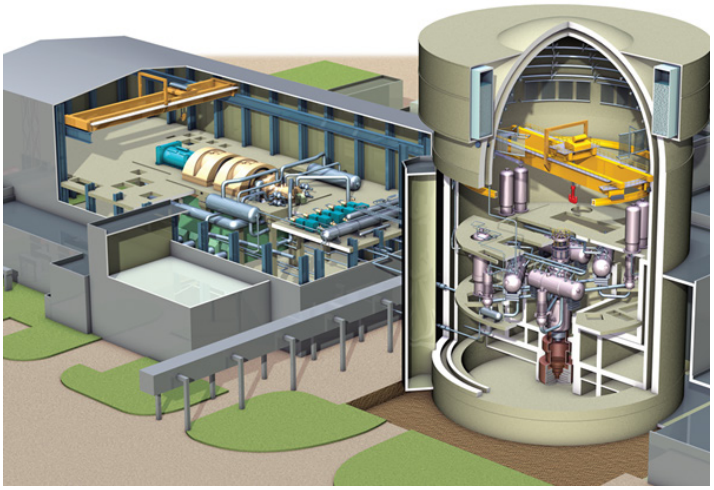

A compact station
· 3415 MWt. Primary system
· 1100 MWe Class
· 2-loops, 2 steam generators
Containment/Shield Building
Auxiliary Building
Turbine Building
Fuel Handling Area
(Aux. Bldg.)
Annex Building
Radwaste
Building
Annex Building
Diesel Generator Building

Hayiang 1, 2, Kina

Vogtle Unit 3

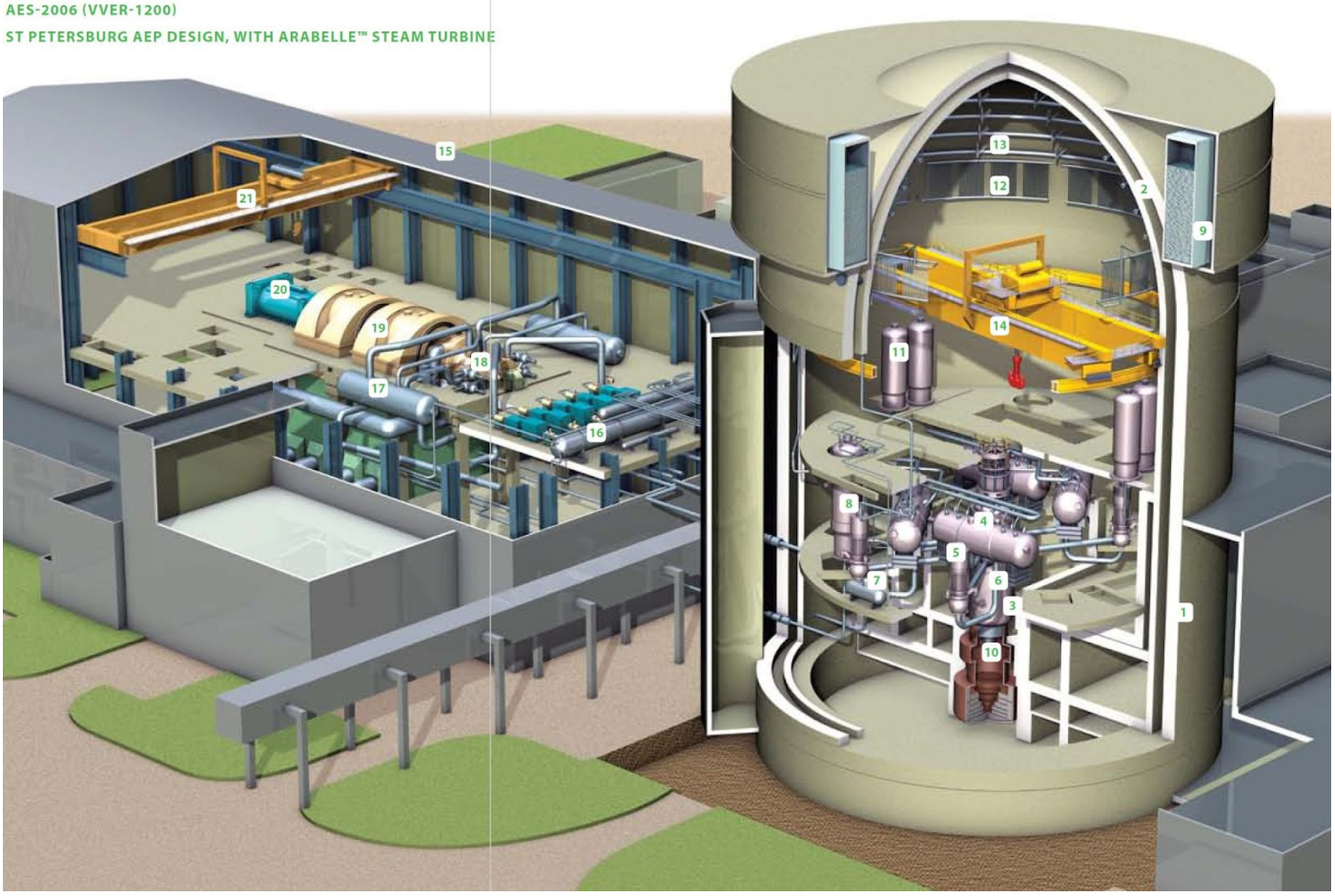
Rosatom VVER 1200 (MIR-1200 / AES-2006 / AES-2006E)

Tianwan-7 och -8 Den tänkta Hanhikivi i Finland, de uppförda i Belarus och påbörjade i Paks (AES-2006E)



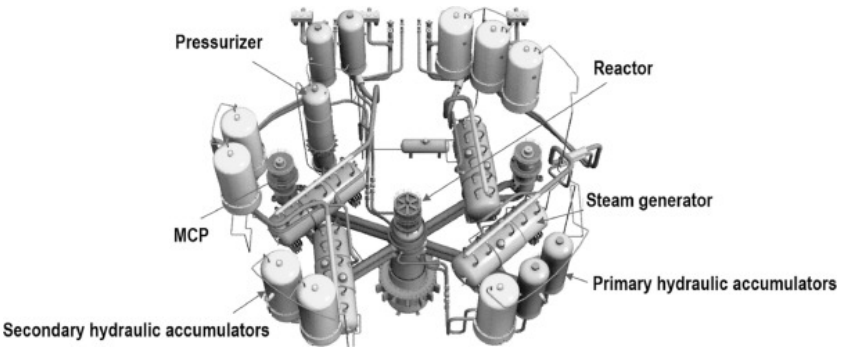
AES-2006 (VVER-1200)

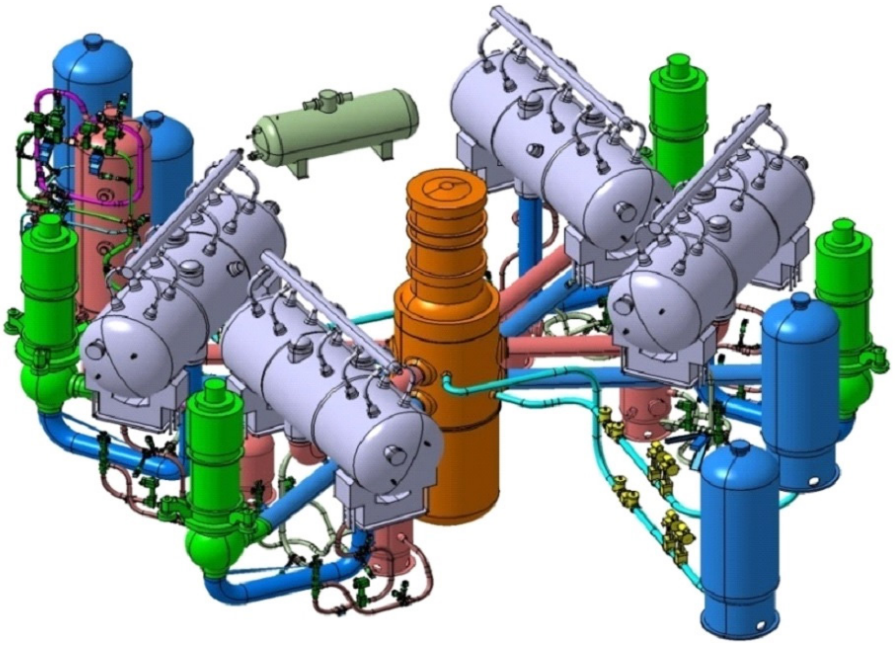
ST PETERSBURG AEP DESIGN, WITH ARABELLE™ STEAM TURBINE



KEYS

1 Reactor building
2 Annulus
3 Reactor vessel
4 Steam generator
5 Reactor (main) coolant pump
6 Main coolant piping
7 Bubbler tank
8 Pressuriser
9 Passive heat removal system tanks
10 Core catcher
11 Emergency core cooling system accumulators
12 Passive heat removal system heat-exchangers
13 Sprinkler system
14 Polar crane
15 Turbine building
16 Deaerator
17 Moisture separator reheater
18 HP cylinder
19 LP cylinder
20 Generator
21 Gantry crane





Några kommentarer

Nya kärnkraftverk kommer bara tillstånd om någon vill, får och kan bygga dessa. Därtill att man är säker på detta, dvs har kontroll över risker. Sist men inte minst – att man är förmögen att ta erforderliga beslut!

Med den ökning av framtida elbehov som tydliggjorts i närtid - bland annat i elektrifieringsstrategin publicerad i februari 2022 - är det uppenbart att alla medel att tillföra elproduktion behövs. Vind, sol, kärnkraft och säkerställandet av att vattenkraften kan brukas rationellt. Likaså att denna elproduktion behöver fördelas lämpligt över landet och ha egenskaper som i samverkan med distributionen säkrar tillförlitlig tillgång till såväl effekt som energi. **Viljan** att bygga nytt borde därmed vara hög och investeringarna torde vara riskfria.

Svårigheter finns idag huruvida man får bygga nytt. Formellt - och i det fall man önskar bygga samma typ av anläggningar som de som är i drift - är det tillåtet och görligt enligt författningarna. Dock med kända och allvarliga avgränsningar. Däremot omöjliggör dagens författningar nybyggnation av andra typer av kärnkraftverk, t.ex. SMR. Detta är ett ovedersägligt faktum och kan lätt inses efter genomgång av gällande författningar.

Slutsatsen är därför att man idag **får** bygga sammanlagt 4 enheter vid befintliga anläggningsplatser (exklusive Barsebäck). Att dessa skulle kunna vara **SMR är i praktiken uteslutet** – på grund av brister i författningar.

Den tredje frågan är **om vi kan** bygga nya kärnkraftverk idag. Resurser och kunnande behövs hos:

1. Mottagaren (köpare, ägare, tillståndshavare, operatör / handhavare).
2. Leverantörerna.
3. Berörda myndigheter och lokalsamhällen.
4. Investerare.

Idag är det viktigast att **förstärka leverantörssidan** eftersom denna blivit eftersatt i västvärlden till följd av få nybyggnationer. För detta behövs strategiska beslut av de kraftföretag som kan komma att engagera sig i nybyggnad och av de stora elkonsumenterna. Besluten behöver vara såväl kort- som långsiktiga.

Resurser och kompetenser är i övrigt tillfredsställande, men samordning och systematisering brister. Här är förhållandena i Finland föredömliga. Samverkan med dem förordas.

Många SMR-konstruktioner marknadsförs idag. Några få av dessa har presenterats här. Några förs fram av resursstarka företag med lämpliga erfarenheter. Det går därför att ha tilltro till dessa företags utsagor om konstruktionernas egenskaper och möjligheten att leverera dem inom angivna tider. Andra förs fram av företag med få erfarenheter och behöver därför granskas i vid bemärkelse innan konkurrenskraften kan värderas.

Marknaden kan såldes idag leverera nya kärnkraftsenheter som passar behoven. Detta förutsätter att strategiskt viktiga beslut tas av kraftföretag i samverkan. Stora elkonsumenter bör delta i dessa beslut om strategiska inriktningar.

Samhällets förmåga att anpassa författningarna till de nya möjligheterna att bygga kärnkraftverk är tidskritiskt viktig. Det innefattar att säkerställa en framtida stabilitet i förutsättningarna för bruket av kärnkraften som omfattar ett tidsspann som är i paritet med det tidsspann som investeringsbesluten omfattar.

För SMR är internationell harmonisering av krav en nödvändighet. Några ansträngningar i den riktningen pågår och bör ges kraftfullt stöd.

Regeringens uppdrag till SSM att utveckla föreskrifter har sina förtjänster, men hade varit långt bättre om det funnits en markering av behovet att harmonisera kraven med andra länder samt innefattat uppdrag att ta del av och bidra till erfarenheter via medverkan i internationella fora. Som minimum bör samverkan ske med STUK och inom IAEA.

Sammantaget behövs strategiska beslut inom industrin och en politisk förankring av beslut.

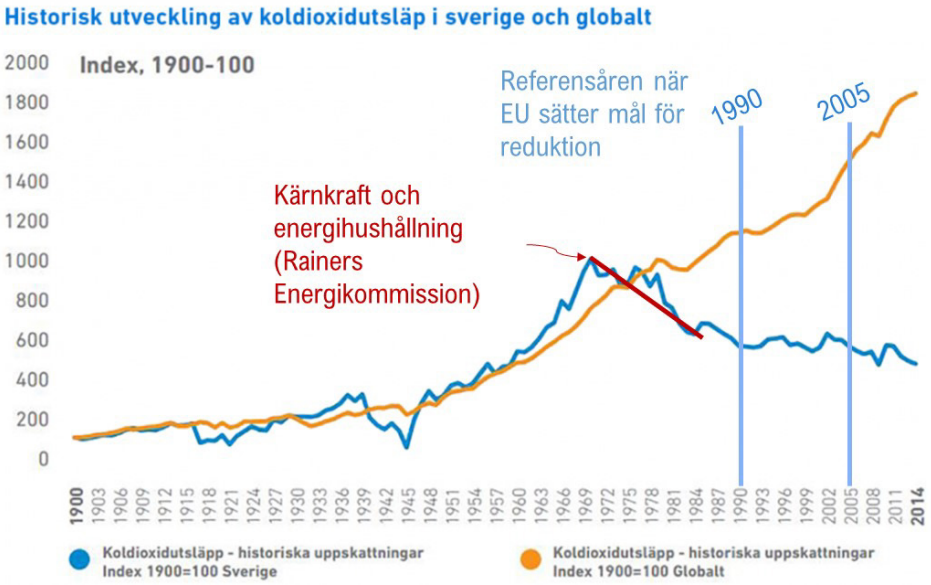
Starten av uppbyggnaden av dagens kärnkraft i Sverige.

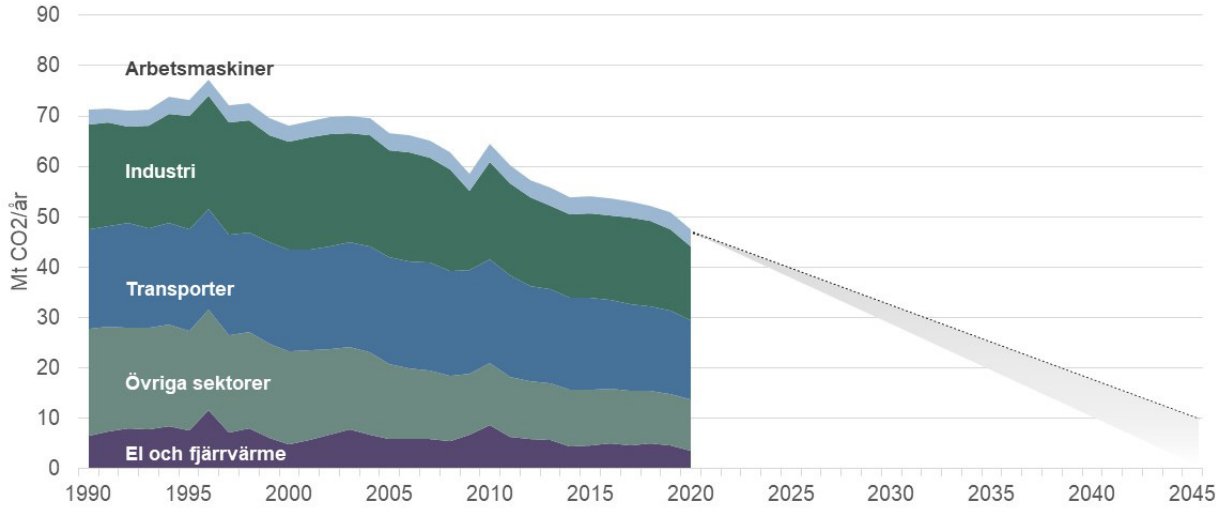
Industrins strategiska beslut.

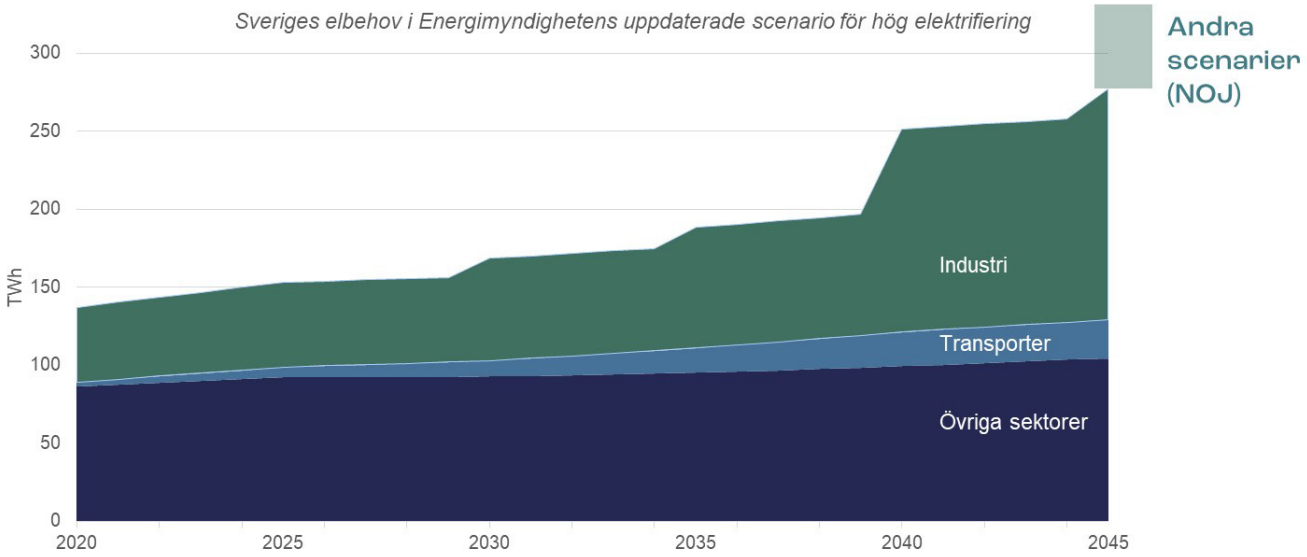
Den politiska förankringen.

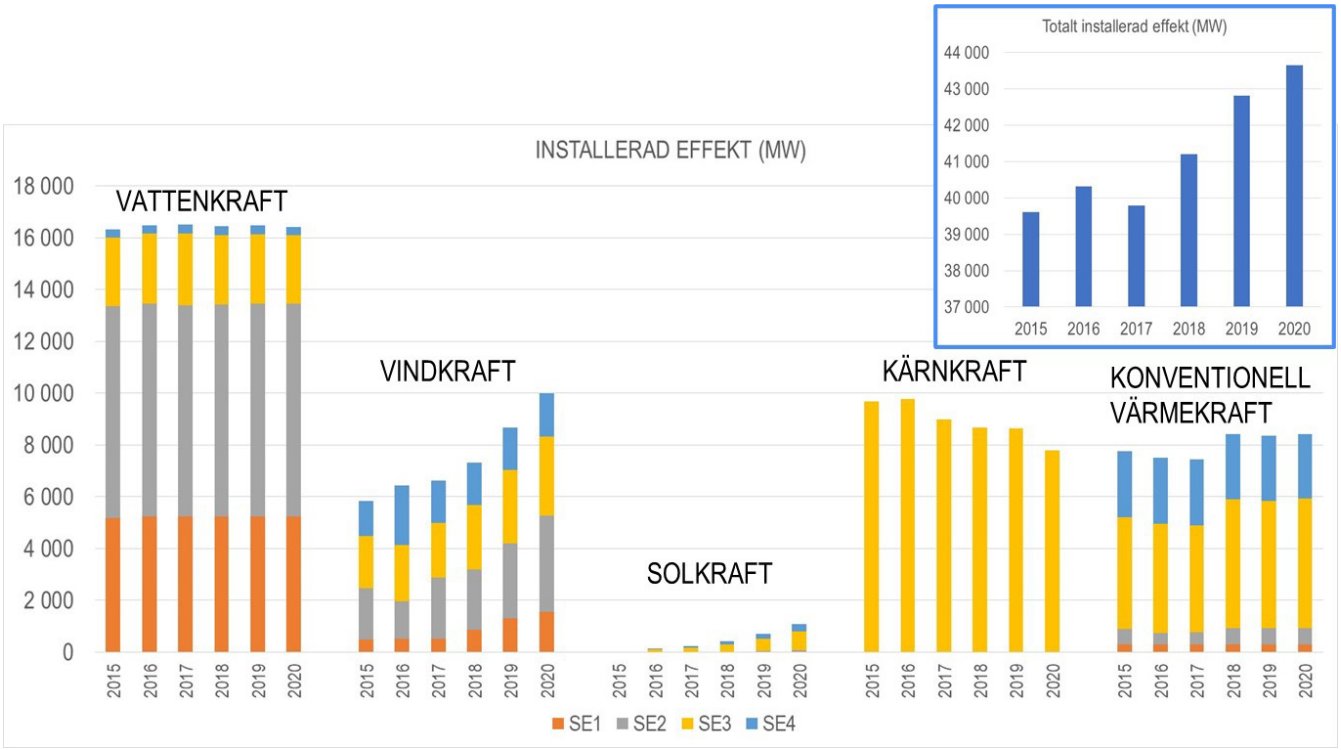
Perspektiv

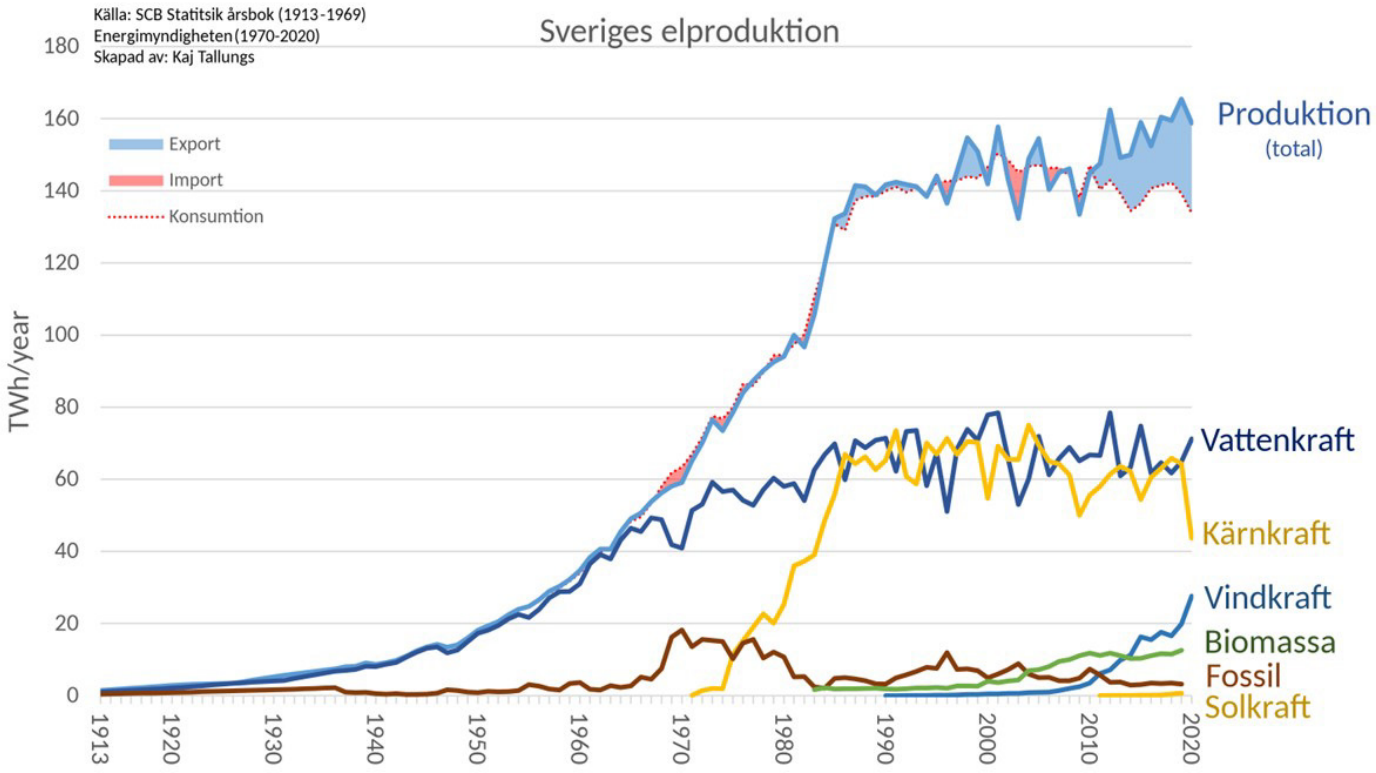
Att ha ett perspektiv är fundamentalt viktigt inom energiförsörjning.

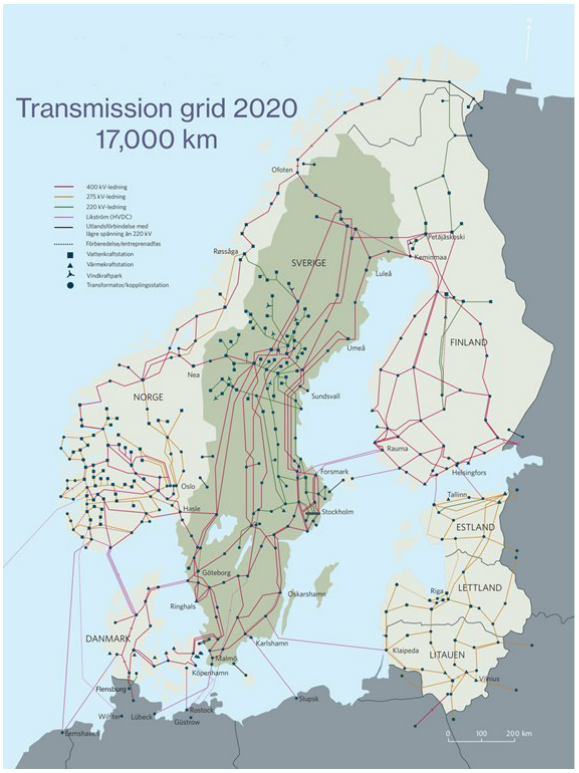


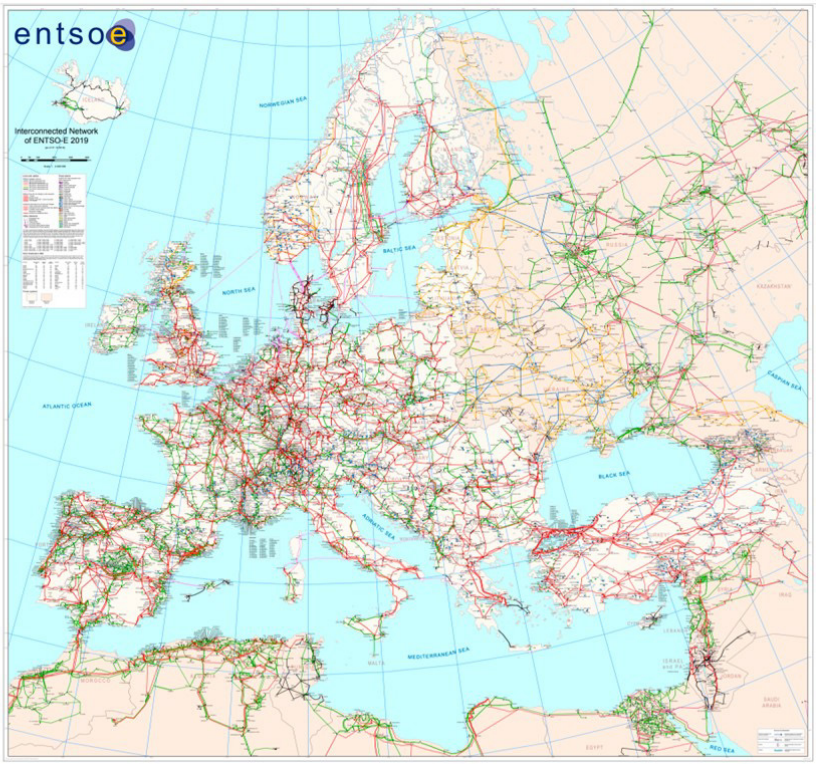





INSTALLERAD EFFEKT (MW)
VATTENKRAFT
VINDKRAFT
SOLKRAFT
KÄRNKRAFT
KONVENTIONELL VÄRMEKRAFT
SE1 SE2 SE3 SE4
Totalt installerad effekt (MW)

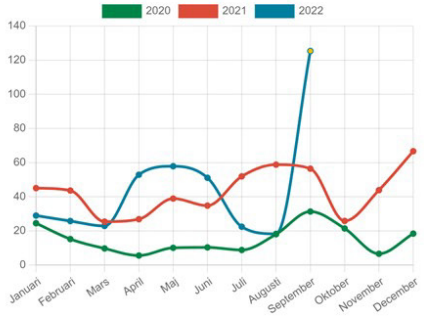

Källa: SCB Statitsik årsbok (1913-1969)
Energimyndigheten (1970-2020)
Skapad av: Kaj Tallungs
Sveriges elproduktion
Export
Import
Konsumtion
Produktion (total)
Vattenkraft
Kärnkraft
Vindkraft
Biomassa
Fossil
Solkraft
TWh/year

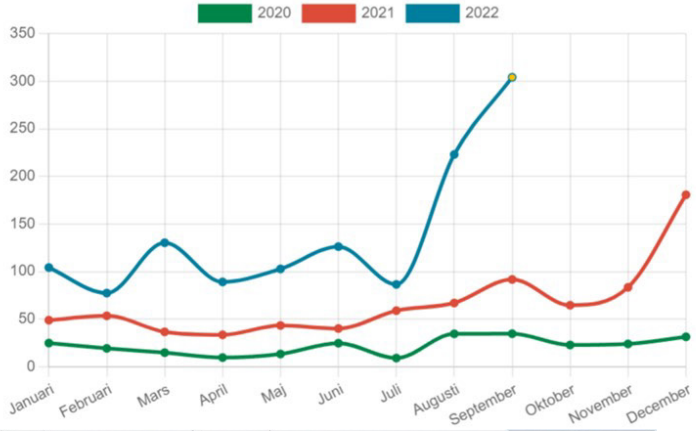


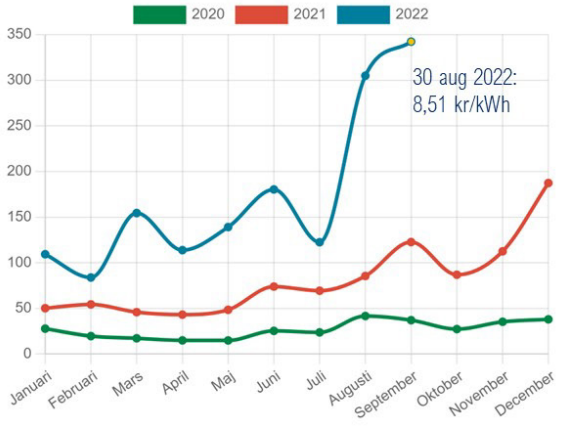


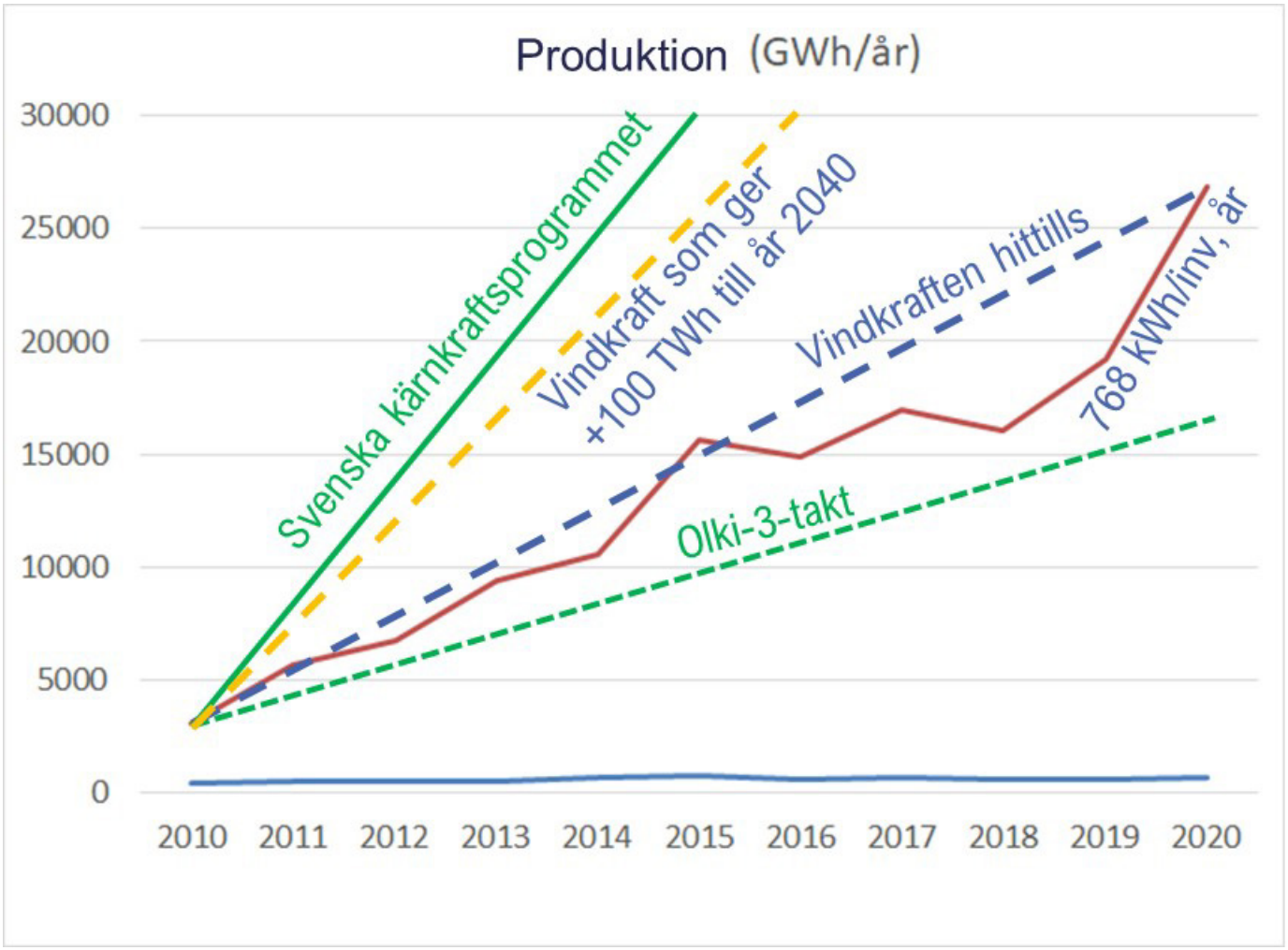
Timpriser på el i SE1, SE3 och SE4

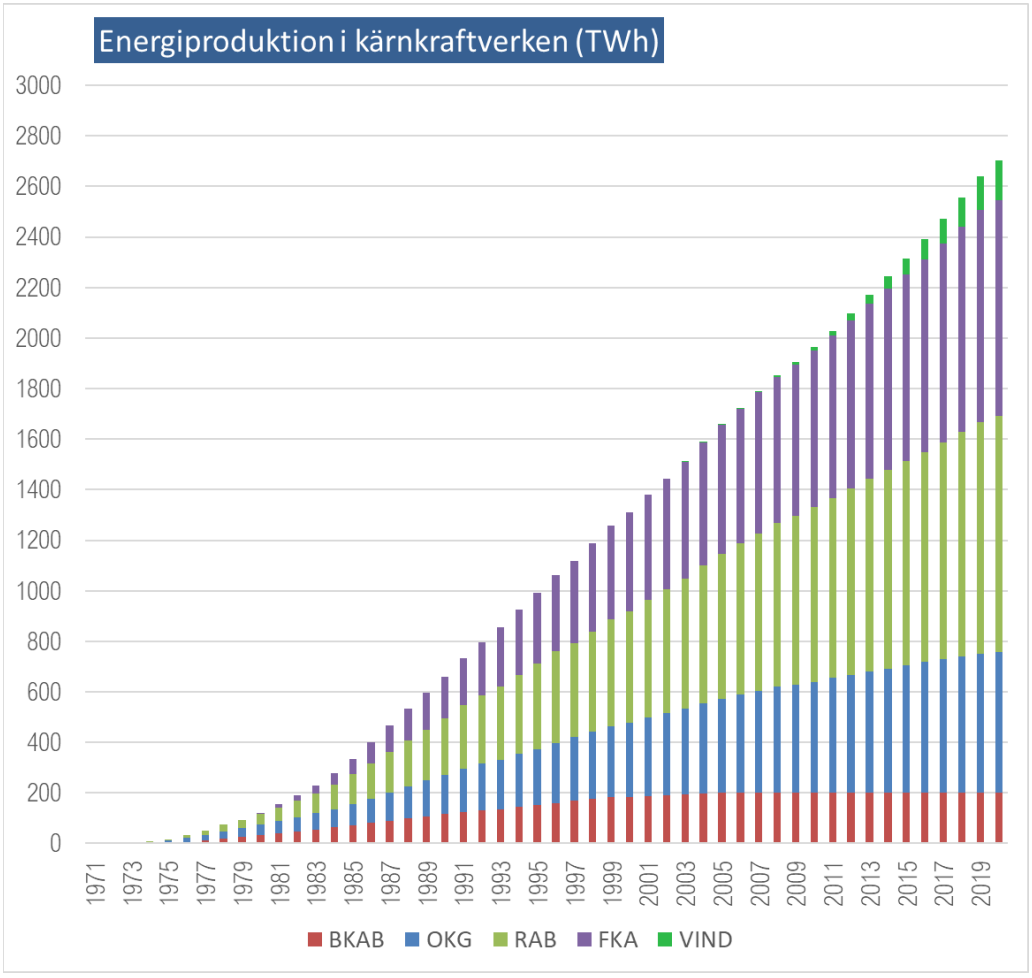
Skatter, elcertifikat, elnätsavgifter m.m. tillkommer

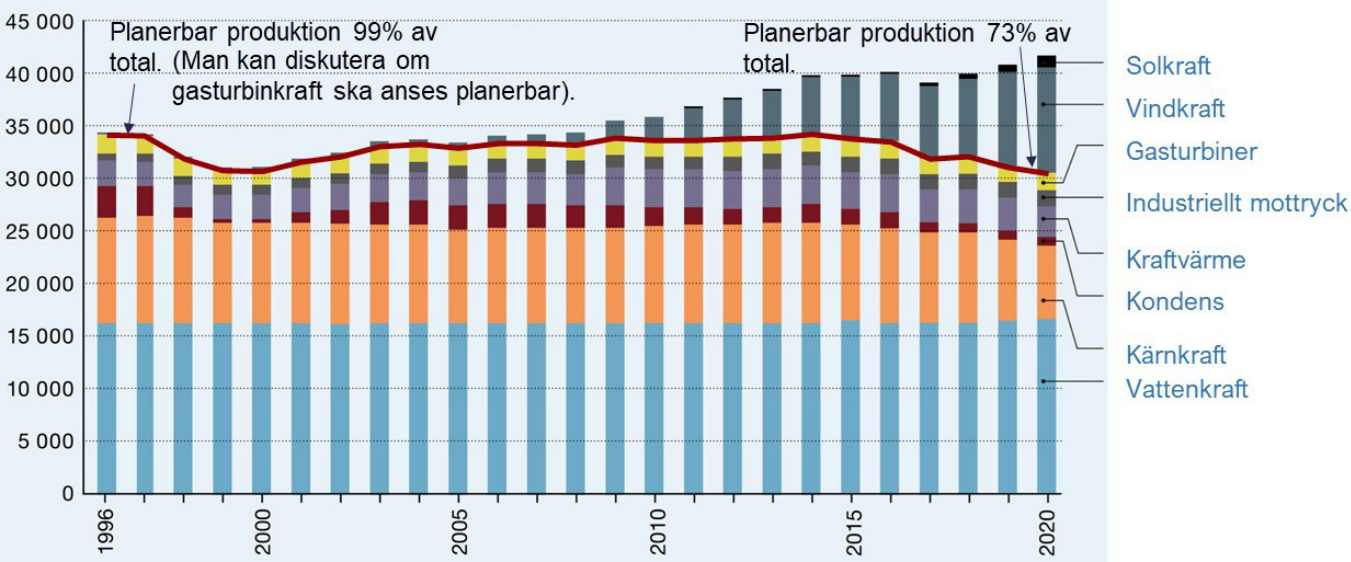







Produktion (GWh/år)
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
Svenska kärnkraftsprogrammet
Vindkraft som ger +100 TWh till år 2040
Vindkraften hittills
768 kWh/inv, år
Olki-3-takt

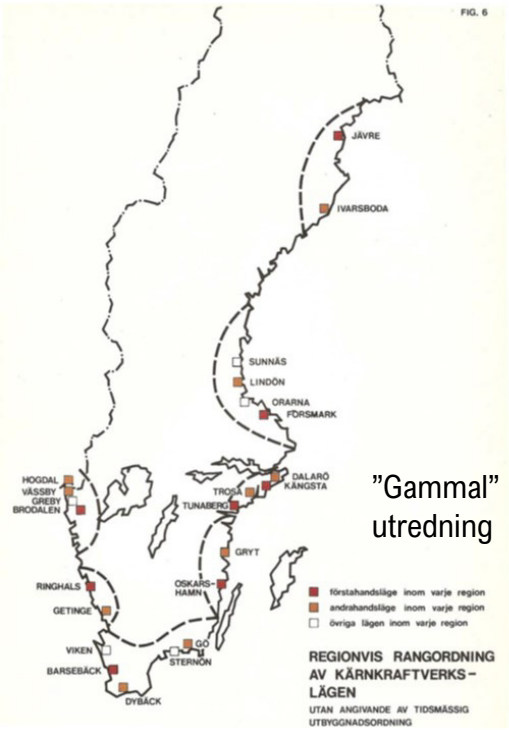

Energiproduktion i kärnkraftverken (TWh)
3000
2800
2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
1971
1973
1975
1977
1979
1981
1983
1985
1987
1989
1991
1993
1995
1997
1999
2001
2003
2005
2007
2009
2011
2013
2015
2017
2019
BKAB
OKG
RAB
FKA
VIND



Two first BWRX-300 including all preparations.

A guesstimate October 2022

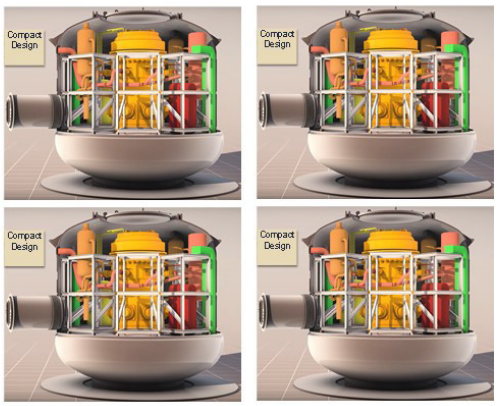
NOTERA:
Bara som ett exempel!



Var

”Gammal” utredning

Vad



Katastrof?

Ägarnas penning-sampo

Kundpris: 8,5 GEURO
Återbetalningstid idag: < 6 år

Kundkostnad: 11 GEURO
Återbetalningstid idag: 7 år 2 mån
Återbetalningstid med ursprungligen antaget elpris (35 EURO/MWh): 14,5 år

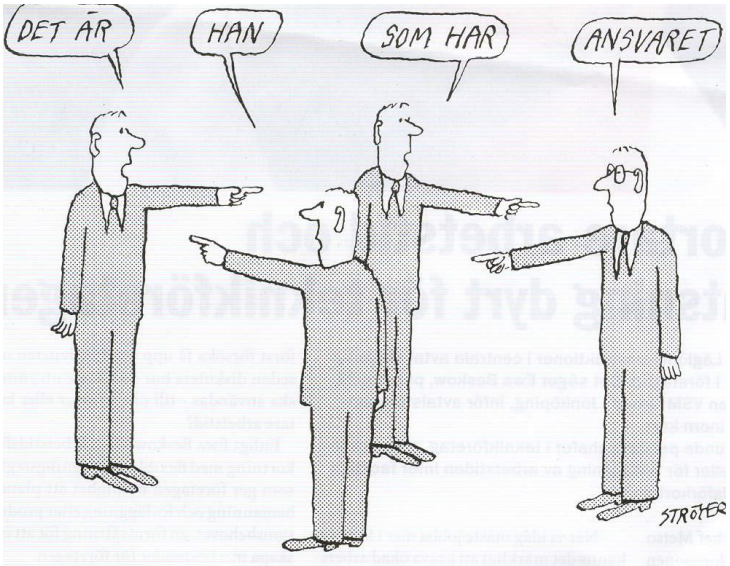
Kontrakterad: 2004 (ca 3 GEURO)
Byggstart: Februari 2005
Planerad start: 2009

NOTERA: Beräkningarna ovan är ifrågasatta, men ligger i rätt härad.

Att komma igång

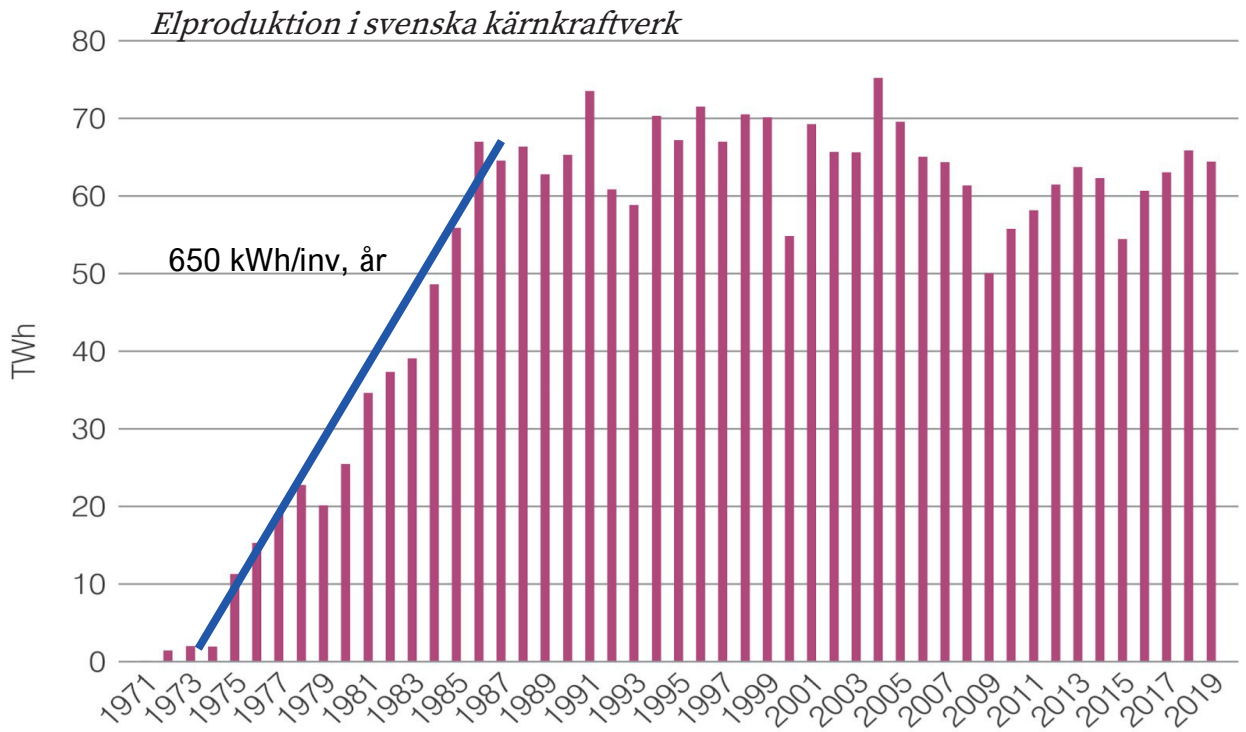
1. Långsiktiga förutsättningar
2. Finanserna
3. Författningar och regelverk
4. Leverantörer
5. Infrastrukturen

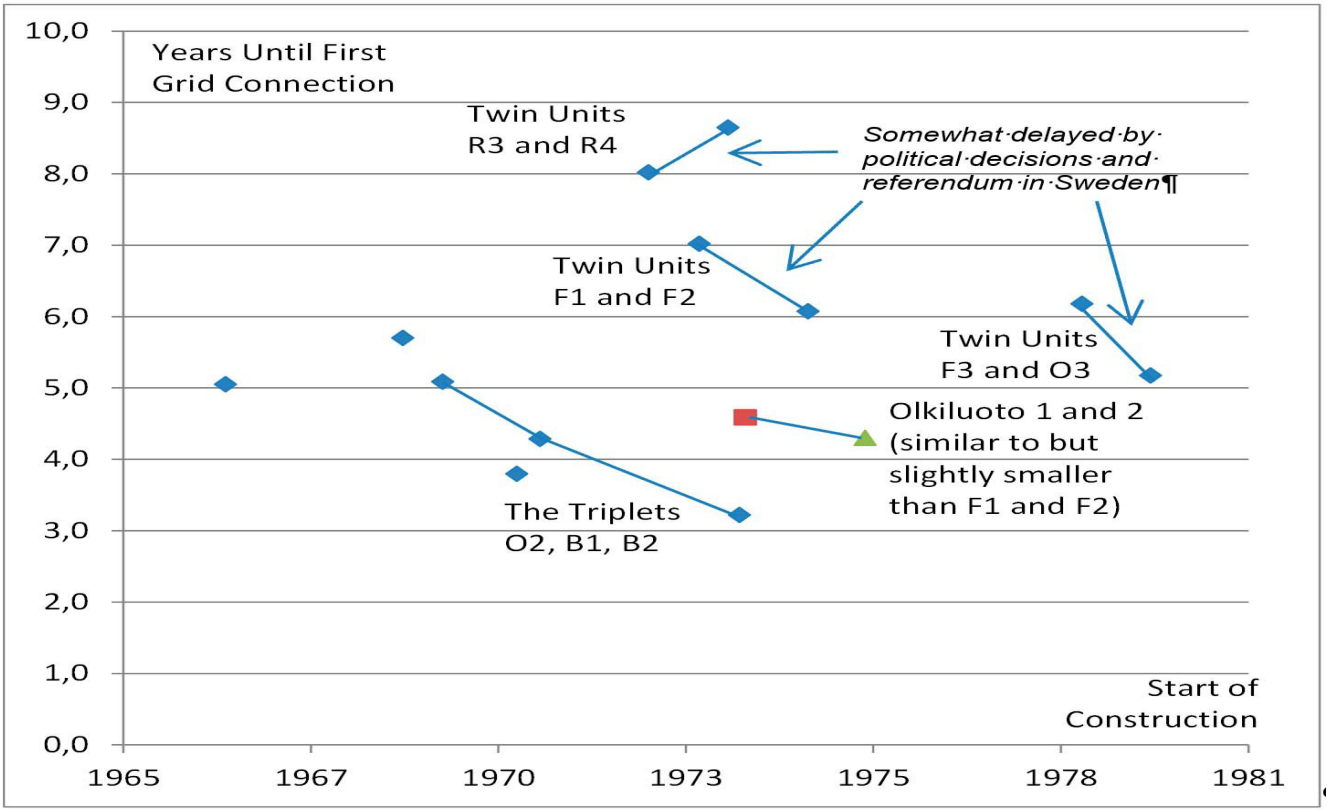
Och inte minst – ta ansvar!



1. Markera viljan att bygga ny kärnkraft
2. Efterfråga, tydliggöraoch stödja justeringarna av författningar och regelverk
3. Göra troligt att man kan bygga ny lönsam kärnkraft

Alternativ

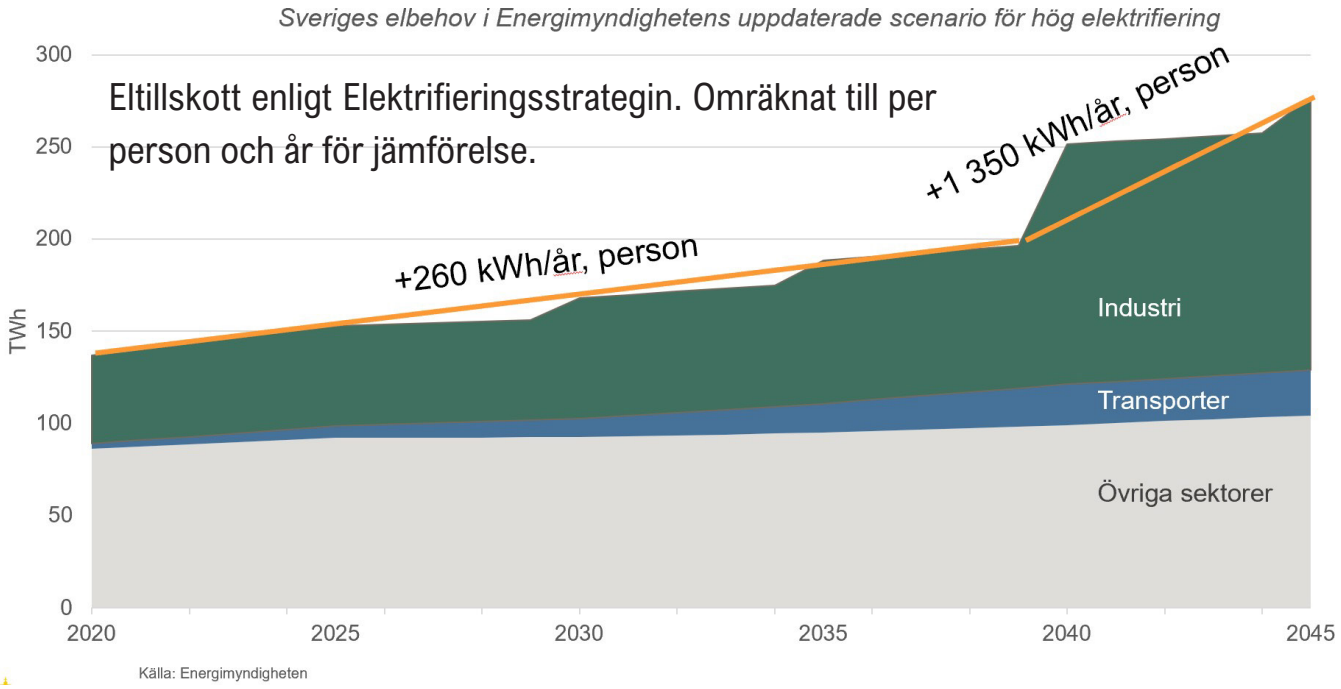


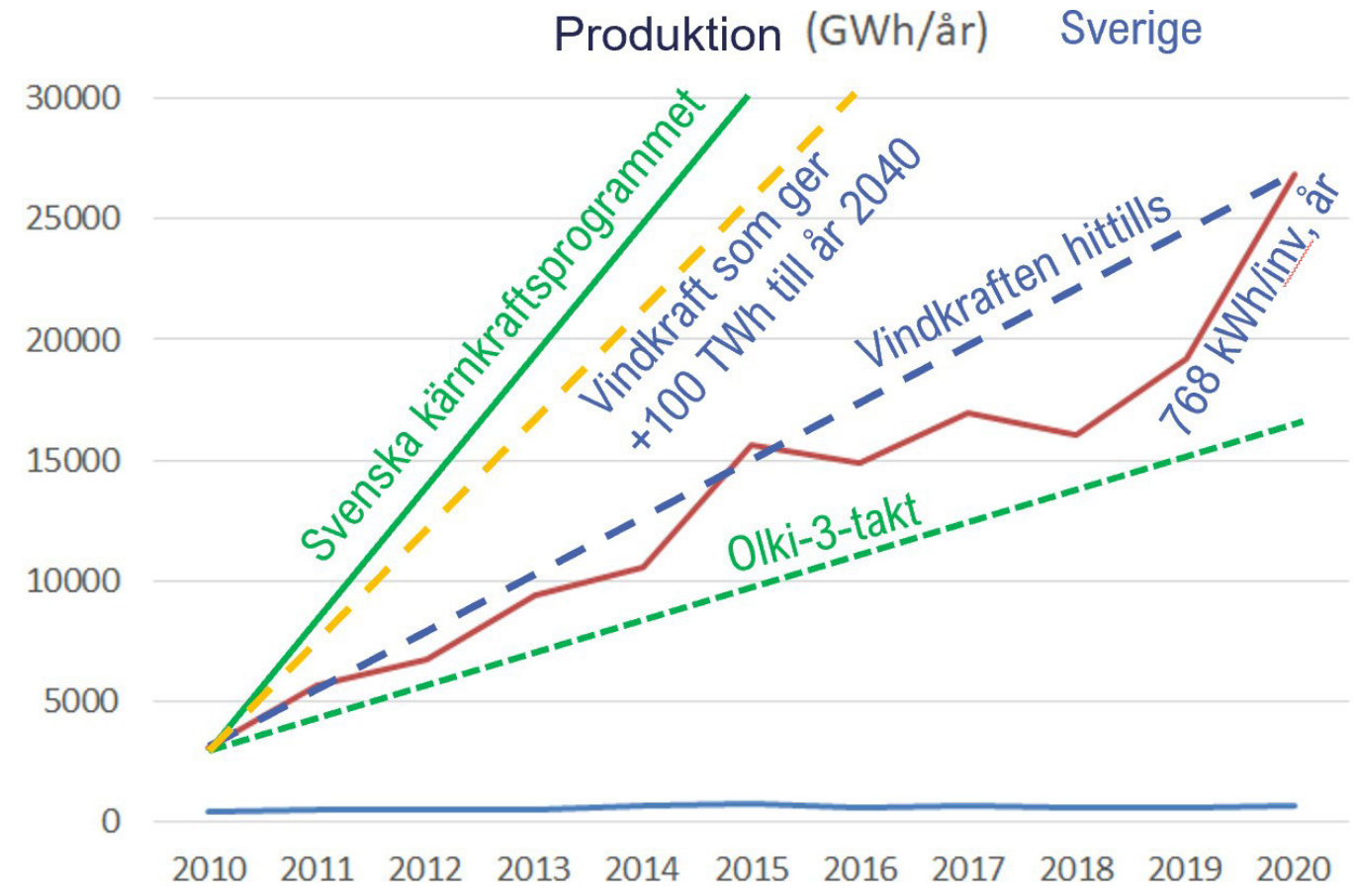


Figuren illustrerar nyttan av att bygga ofta. Hela infrastrukturen blir effektiv.

Barsebäck 2 byggdes t.ex. på strax över tre år. Den stora anläggningen Oskarshamn 3 (producerar idag 1 450 MW el) byggdes mellan 1 januari 1980 och 15 juli 1985.

Den totala kostnaden för Oskarshamn 3 fram till kommersiell drift var 10 977 573 000 kr, inklusive finansiella kostnader som vid denna tid var betydande. Den ursprungliga budgeten (10 392 905 000 kr) överskreds med 6% vilket föranledde omfattande analys och förteckning över korrigerande åtgärder i det fall ett liknande projekt skulle genomföras.





En jämförelse mellan utbyggnadstakter för ny elproduktion.

Noteras den mycket snabba utbyggnad som ska till om elektrifieringsstrategins mål ska nås. (2010 valt som startår i illustrationen eftersom vindkraftens utveckling återges tidsmässigt korrekt).

Amerikanska Advanced Reactor Demonstration Program – ARDP

Det amerikanska stödprogrammet har tre delar för att stödja utveckling och demonstration.

1) Demonstration av avancerad reaktorkonstruktion som förväntas resultera i en funktionsduglig reaktor inom 7 år.
2) Medel för att reducera risk i framtida demonstrationer varigenom upp till fem grupper kan få stöd att lösa tekniska, driftmässiga eller regulativa frågor i sina förberedelser för att komma till en demonstrationsmodell.
3) Avancerade reaktorkoncept vari man stöder innovativa och annorlunda konstruktioner som har en potential att bli kommersiella i motten av 2030-talet.

Två demoprojekt drivs för närvarande framåt. Dels TerraPowers konstruktion, dels X-energys konstruktion.

Riskreducerande stöd har gett i form av 30 MUSD till vardera fem konstruktioner:

1) BWXT – en 50 MWt liten reaktor för avlägsna platser, med Triso-bränsle som dock använder uranitrid. Pengarna ska främst gå till att kvalificera bränslet.
2) eVinci mikroreaktor som utvecklas av Westinghouse. 15 MWt reaktor som ska kunna installeras på avlägsna platser på 30 dagar. Stödet ska stimulera Westinghouse att få fram en demoanläggning till 2024.
3) Kairos Power utveckling av sin fluorsaltbaserade (energibäraren, Triso-bränslet används) konstruktion genom att bygga en demo i liten skala (Hermes) vid Oak Ridge.
4) TerraPowers reaktor med deras snabbreaktor som använder flytande bränsle i kloridlösning. En försöksanläggning ska byggas tillsammans med kraftföretaget Southern Company och andra parter och vara klar inom fem år.
5) Även Holtec:s SMR 160 har fått stöd.

Därtill stöds flera andra mindre mogna konstruktionslösningar med 20 MUSD.

Sammanlagt är planen att stödja avancerade reaktorer med 600 MUSD framgent.

Två konstruktioner har fått stöd för att utveckla en demonstrationsanläggning inom 5-7 år: Natrium-reaktorn och X-ENERGY:s Xe-100. Dessa har fått 80 MUSD vardera.

Det totala stödet inom ARDP-programmen beräknar DOE ska uppgå till 3,2 GUSD under 7 år (2020 – 2027).