

Veidrused ja kurioosumid tuumateadustes

Fermioni suvekool 2023

Allan Vragar 08.08.2023

Algus

- 1896 – Becquerel avastas radioaktiivsuse
- 1932 – Chadwick avastas neutroni
- 1932 – Walton ja Cockroft lõhkusid tehiskult esimese aatomi kasutades protonit
- 1934 – Fermi pommitas neutronitega tuumasi ja tekitas uusi isotoope
- 1938 – Hahn ja Strassmann pommitasid uraani neutronitega ning tekitasid esimese teadliku tuumade lõhustumise
- 1942 – käivitati esimene inimeste ehitatud tuumareaktor



Oklo reaktorid Gabonis

16 looduslikku reaktorit, töötasid 1,7 miljardit aastat tagasi mõnesajatuhande aasta vältel.

Mittelenduvad lõhustumisproduktid ja aktiniidid levisid ainult mõne sentimeetri kaugusele reaktorist.

Oklo reaktorid tõestasid, et tuumajäätmeid on võimalik ohutult lõppladestada pinnases.



US DOE



Uraani on inimkond kasutanud juba 2000 aastat

1789 avastati uraan uraani pigimaagis Martin Heinrich Klaprothi poolt

1841 Eugène-Melchior Péligot eraldas sellest metallilise uraani



U.S. DOE



Vanas Roomas keraamika



Wikipedia



Wikipedia



Esimene reaktor - Chicago Pile-1

Asus Chicago Ülikooli staadioni tribüüni all

2.12.1942 töötas ainult 4,5 minutit võimsusega 0,5 W

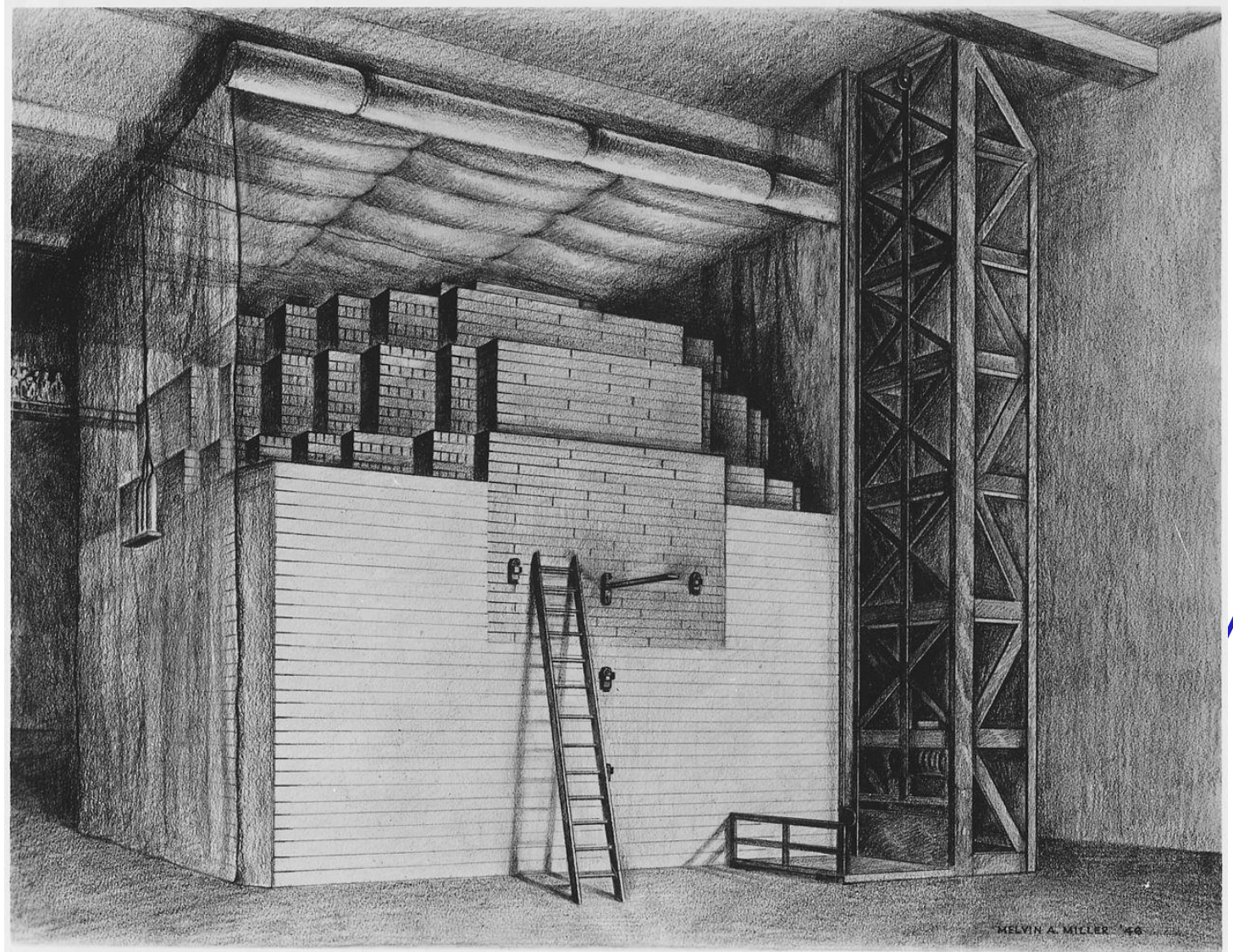
Ilma kiirguskaitseta.

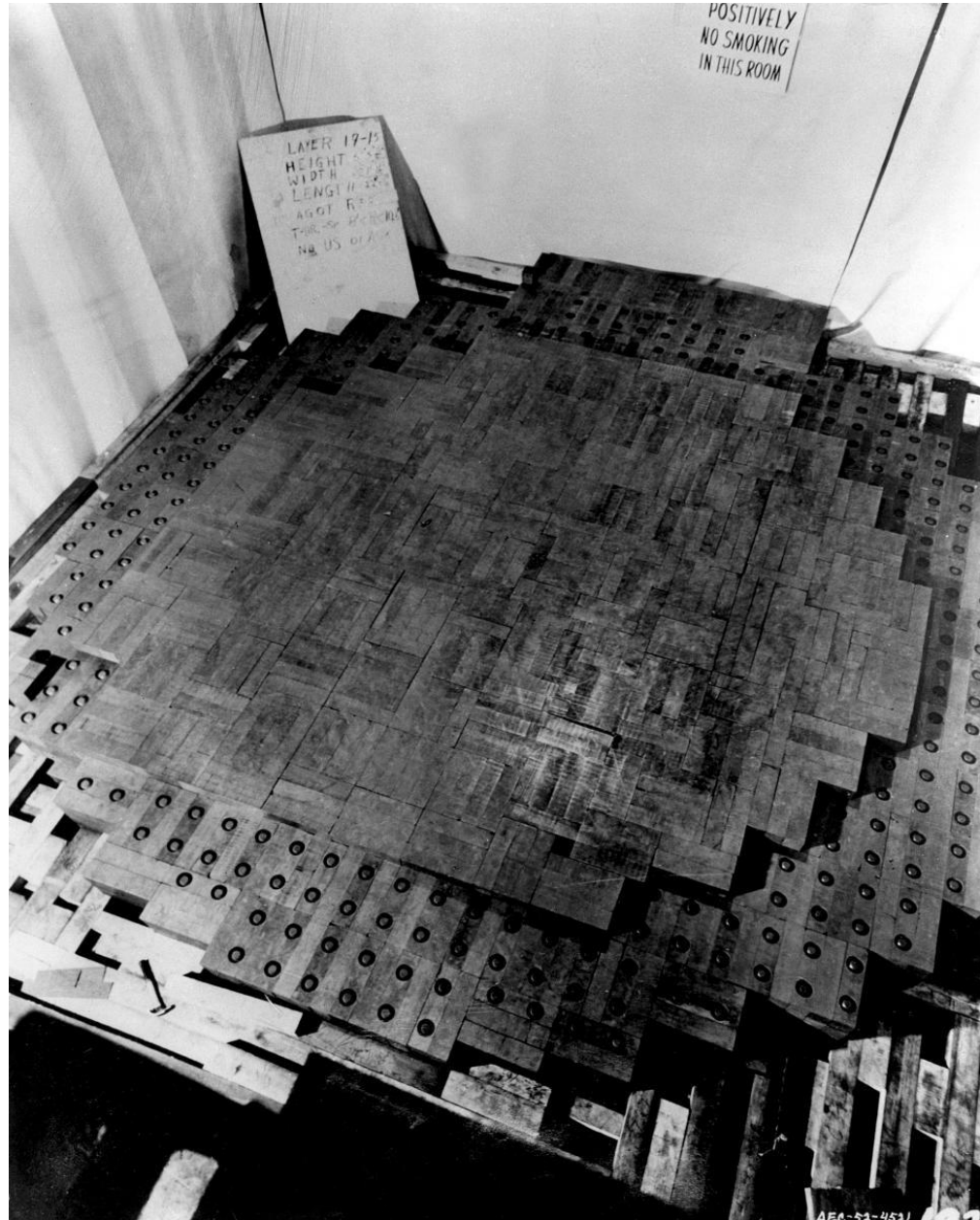
Kasutati kuni 28.02.1943

Maksimaalne saavutatud võimsus 200 W

330 t puhast grafiiti 45000 klotsi

4,9 t looduslikku uraani 41 t UO₂ kokku 19000 klotsi





Energy.gov





Argonne National Laboratory





Argonne National Laboratory





Argonne National Laboratory



Eugene Wigner poolt tähistamiseks ostetud Chianti fiasco pudel.

A few hours later, [Arthur Compton](#), the director of the Met Lab, called his boss at Harvard, [James Conant](#).

“Jim, you’ll be interested to know that the Italian navigator has just landed in the New World,” he said. “Were the natives friendly?” asked Conant.

“Everyone landed safe and happy,” Compton replied



Plutooniumi tootmine ja Columbia jõgi

„B-reactor“ Hanfordis, Washingtoni osariigis, USA-s



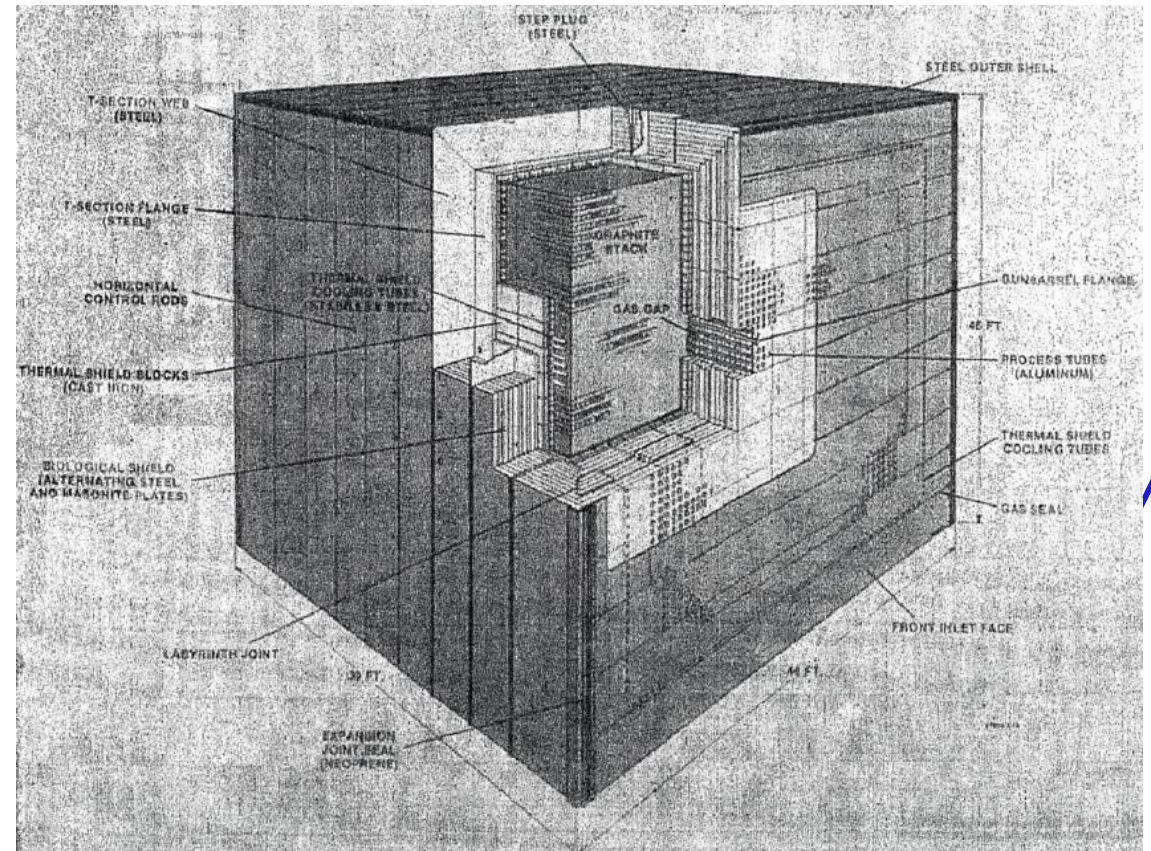
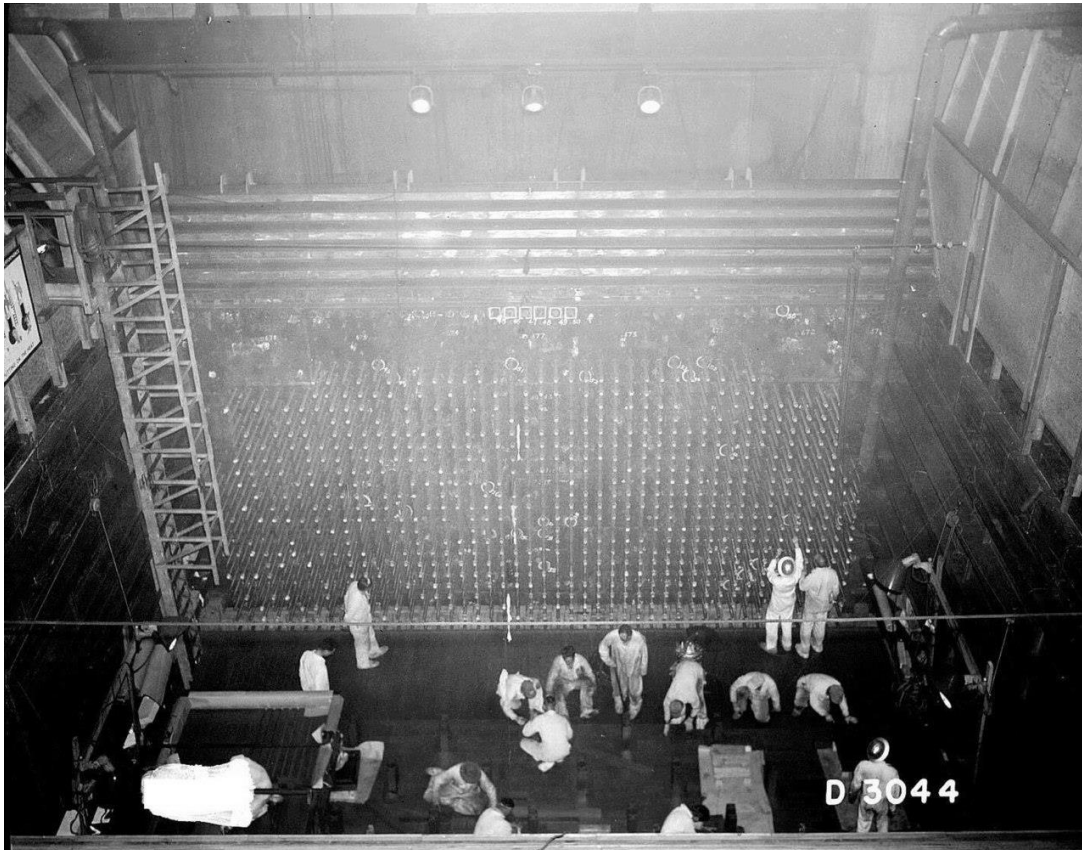
U.S. DOE

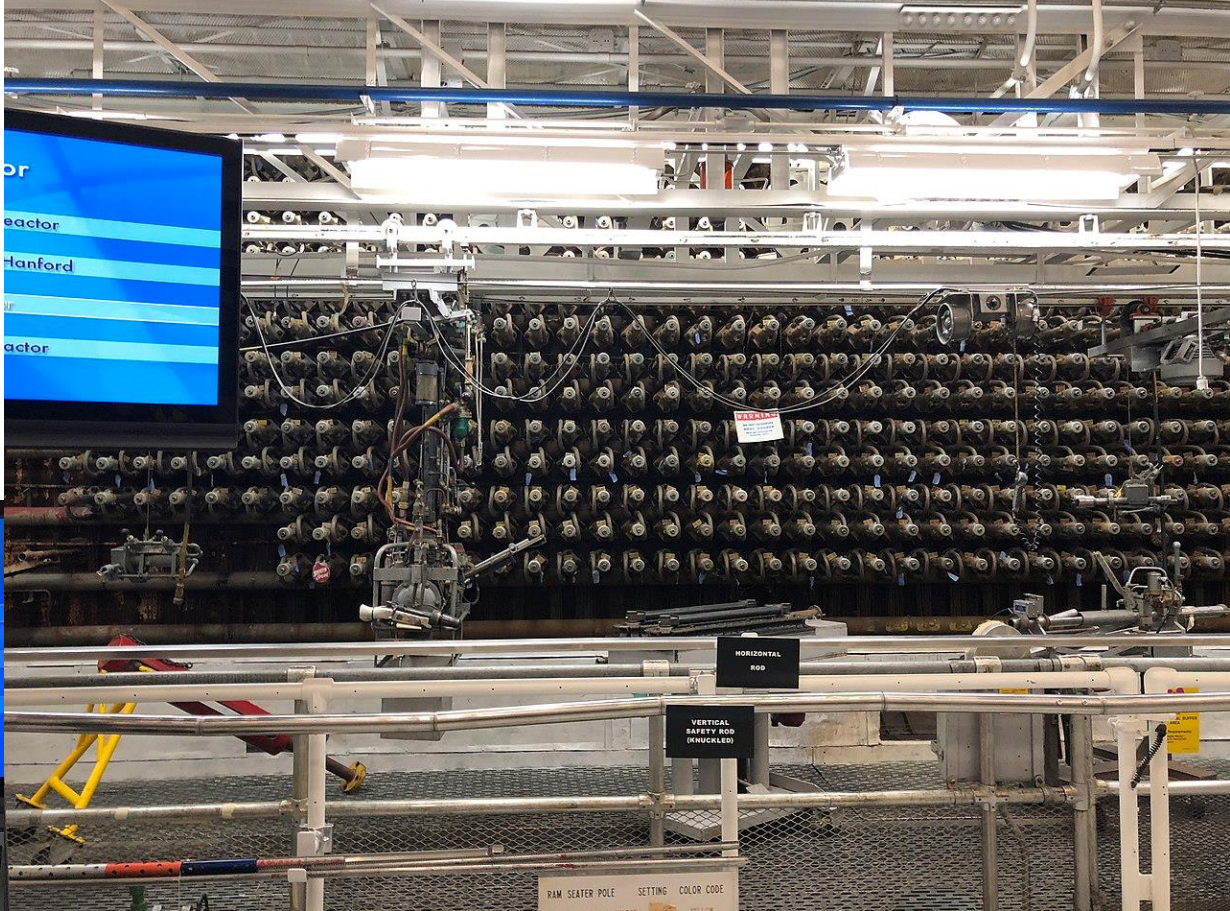


Reaktor plutooniumi tootmiseks. Ehitust alustati oktoobris 1943, esimene kriitilisus 26.09.1944
Töötas aastani 1968.

Reaktori mõõtmed 14 x 12 x 12 m, mille sisu on 1200 t grafiidist kuup külje pikkusega 11 m. 2004 alumiiniumist veega jahutatavat toru kütuse jaoks. Pealt sisenevad seiskamisvardad ja küljelt reguleerimisvardad. Kütuseks 180 t uraani alumiiniumist kapslites. Soojuslik võimsus 250 MW.

Jahutusvett kulub 280 000 l/min





wikipedia





U.S. DOE



Windscale ja „Cockcrofti rumalus“.



Wikipedia



Sir John Douglas Cockcroft
(27.05.1897 -18.09.1967)

Füüsik, Nobeli auhinna laureaat, Atomic Energy Research Establishment (AERE) direktor UK-s.

Nõudis ainuisikuliselt Windscale plutooniumitootmisereaktorite korstendele kalliste õhufiltrite paigaldamist. Neid kutsuti nimega "Cockcroft's Folly" ehk „Cockcrofti rumalus“.

1957. Aastal toimus ühes neist reaktoritest tulekahju ning tänu nendele filtritele jäi ümbruskonnas suur radioaktiivne saastus tekkimata ning leke oli oluliselt väiksem.



Onagawa tuumajaam



IAEA



Yanosuke Hirai (16.05.1902 -21.02.1986)

Ehitusinsener, kelle juhtimisel valmis Onagawa Tuumaelektrijaam, mis oli ainuke tuumajaam, mis pidas peaaegu ilma intsidentideta vastu 2011 aasta suurele maavärinale.

Nõudis projekti täiustamist mitmes aspektis, millest kõige olulisem oli tsunaamivalli kõrgus. 5 korda kõrgem, kui normid ette nägid. Tänu temale ehitati 14,8 m kõrgune vall ning tsunaami, mis 2011. aastal tuli oli 13,78 m kõrgune.



Magnox reaktorid (UK)

Esimene tööstuslik tuumaelektrijaam Calder Hall 1956 4 x 60 MWe



Magnox ja Kimide dünastia



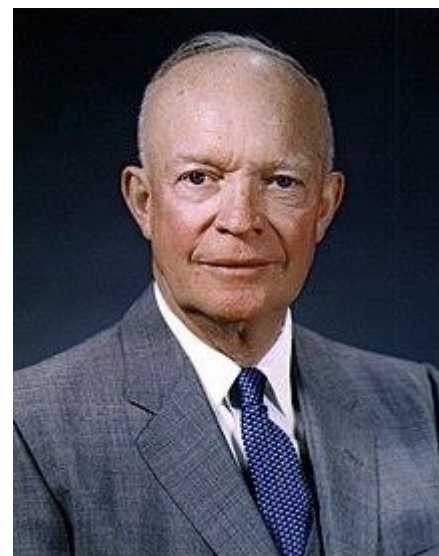
wikipedia



8. detsember 1953



United Nations/ IAEA



White House



Nyöngbyöni Tuumaenergia Instituut (korea **녕변 원자력 연구소**; **寧邊原子力研究所**)
ehk Yongbyoni tuumajaam

Kopeerides UK Magnox'i reaktorite pealt ehitati 1980
alguses 5 MW elektrilise võimsusega reaktor, mille peamine
eesmärk oli toota plutooniumit Põhja-Korea
tuumapommide jaoks.

Alustati ka 50 MW ja 200 MW reaktorite ehitamist, mis ei
saanudki valmis.



wikipedia

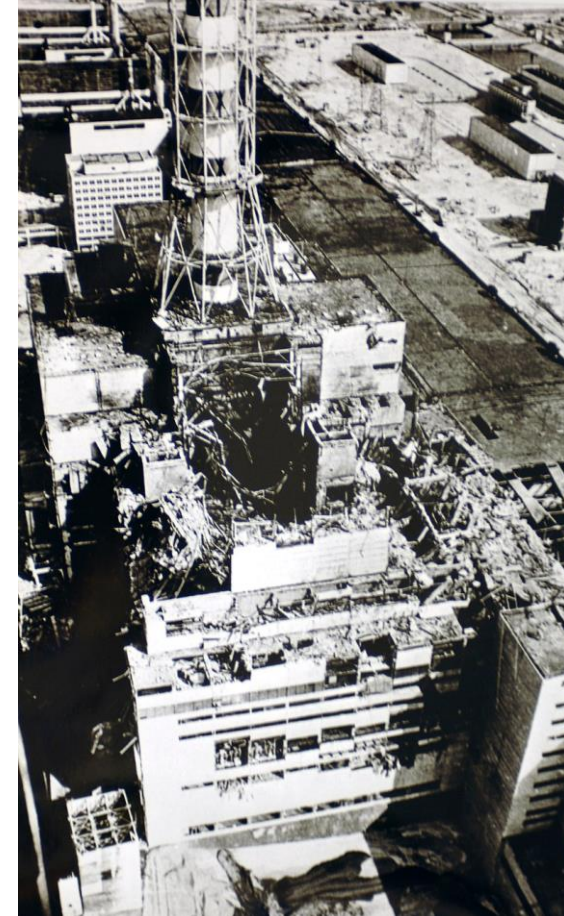


N Liidu grafiitreaktorid



Obninski tuumajaam AM-1 1954 elektrilise võimsusega 6 MW

Wikipedia



Wikipedia



Surveveereaktorid (PWR)- ajalugu



Teollisuuden Voima Oyj



Shippingporti tuumaelektrijaam, USA



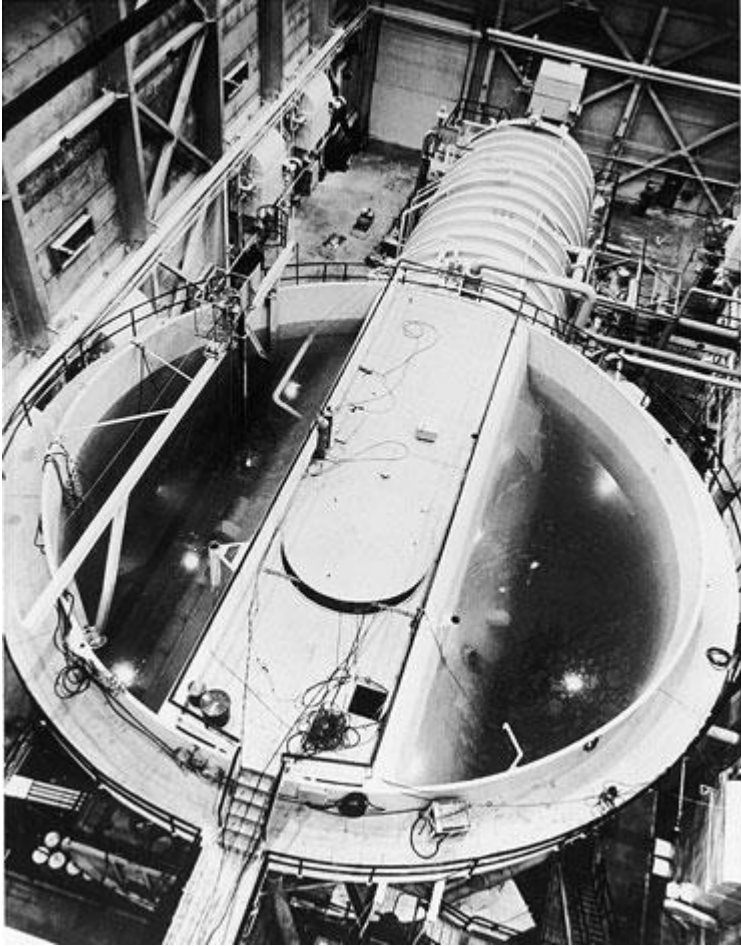
Esimene kriitilisus 26.mai 1958

Elektriline võimsus 60 MW

Töötas kuni 1982

Esimene nn. tööstuslik PWR
Yankee Rowe 1961-1991
elektriline võimsus 180 MW

USS Nautilus (SSN-571)



1954-1980

1953 maapealne katsereaktor Idahos

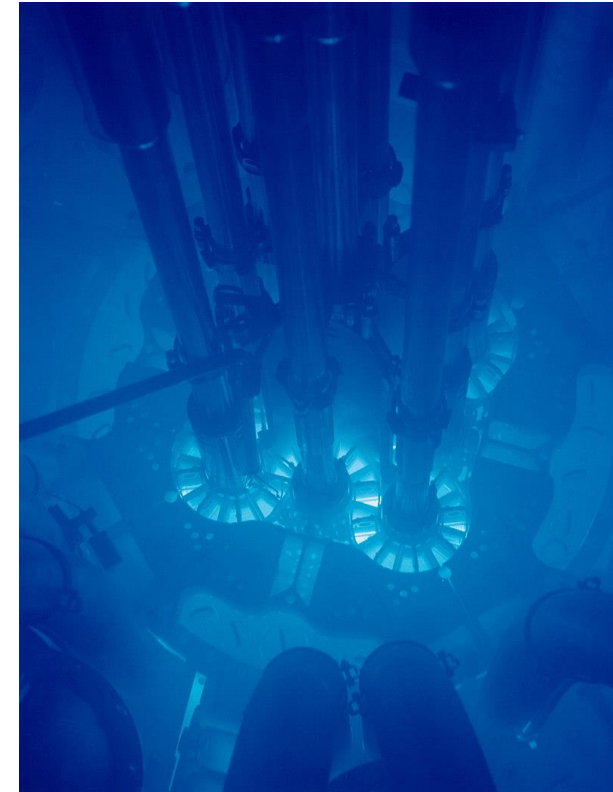


USS Seawolf (SSN-575)

- Valmis 1957
- Naatriumjahutusega reaktor alguses, hiljem vahetati välja PWR vastu



US Navy



Argonne National Laboratory



Naatriumjahutusega reaktor

- Esimene eksperimentaalne reaktor oli USA EBR-1 (Experimental Breeder Reactor), mida alguses kutsuti Chicago Pile 4.
- Oli esimene paljundusreaktor ja tootis esimesena maailmas ka „kasulikku elektrit“ elektrit 20. detsembril 1951 aastal. Elektriline võimsus 200kW
- Esimene demoelektriijaam Sodium Reactor Experiment USA-s 1957-1964, 6,5 MW



Argonne National Laboratory



Esimene elekter

- X-10 Grafiitreaktor, teine reaktor maailmas ja esimene pidevalt töötav reaktor, tootis alguses plutooniumi
- Augustis 1948 tootis esimese tuumaelektri



Mj Wikipedia



Oak Ridge National Laboratory

Keevaveereaktor (BWR)- ajalugu

- Alguses kavandati ka tuumaallveelaevadele, siis ehitati väikesed reaktorid USA armeele
- Esimene reaktor valmis 1953
- Esimene demoelektrijaam GE Vallecitose tuumaelektrijaam USA-s 1957-1963 elektriline võimsus 5 MW
- Esimene tõsine kommertsjaam **Dresden 1** USA-s 1960-1978, elektriline võimsus 197 MW



Energy.gov



BORAX I (Boiling Water Reactor Experiment No. 1)



Argonne National Laboratory



Ehitati 1953 Idahosse

Maailma esimene keevaveereaktor

Ilma reaktorihooneta ning seda sai opereerida ainult suviti

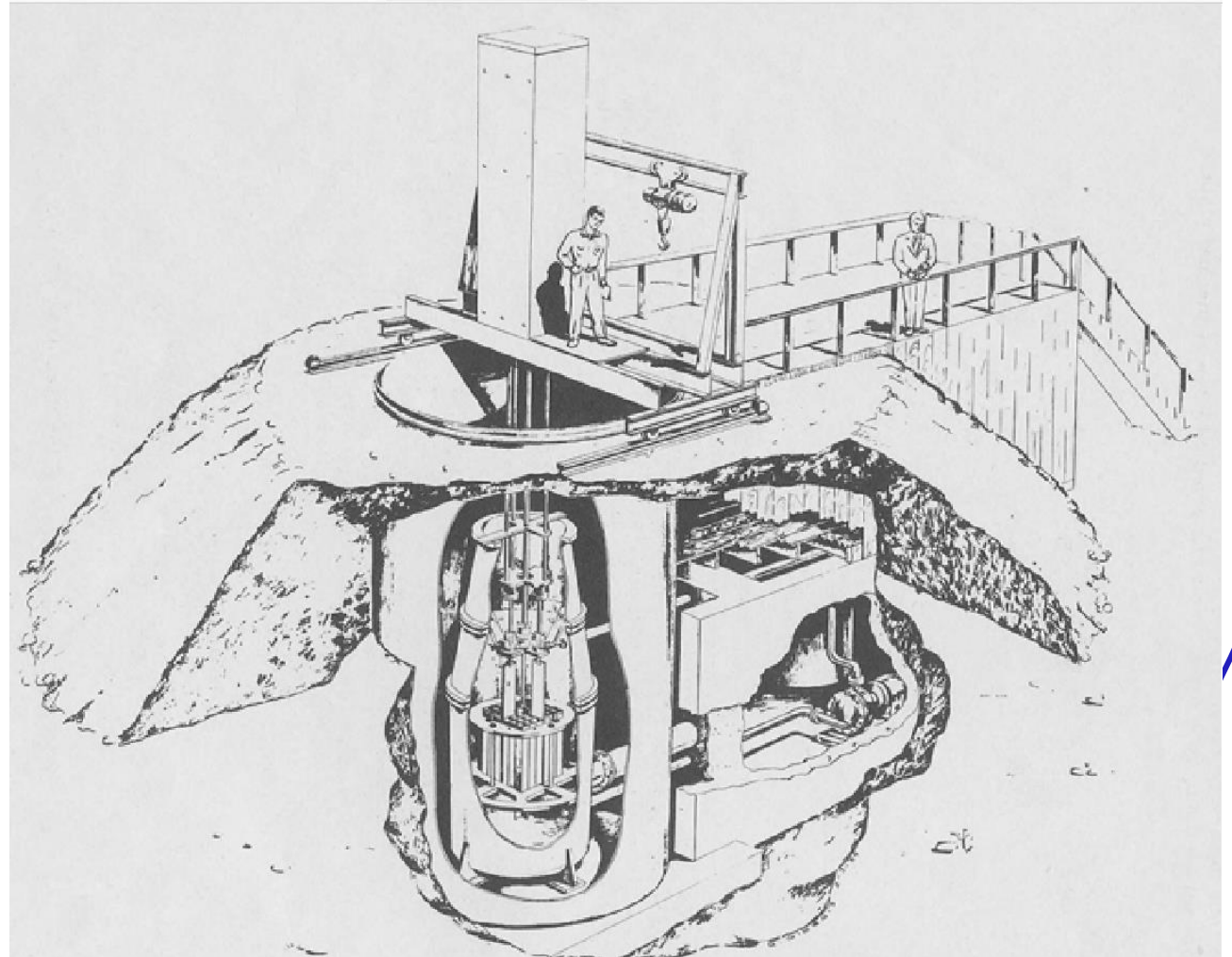
Tehti ligikaudu 70 reaktori kontrolli alt väljumise katset

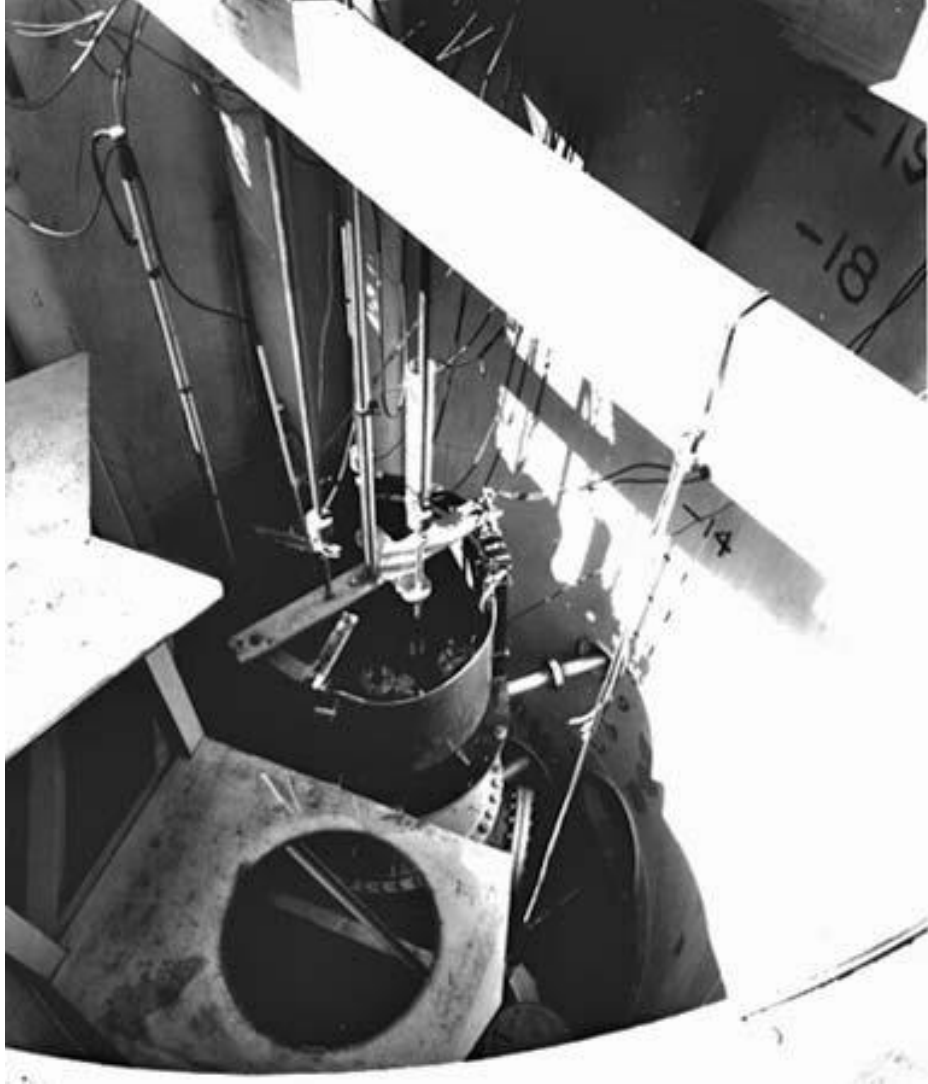
Juulis 1954 lasti reaktor tahtlikult õhku.

Ala (7800 m²) kaeti 15 cm paksuse kruusa kihiga ning reaktori korpus maeti lähedusse maha.

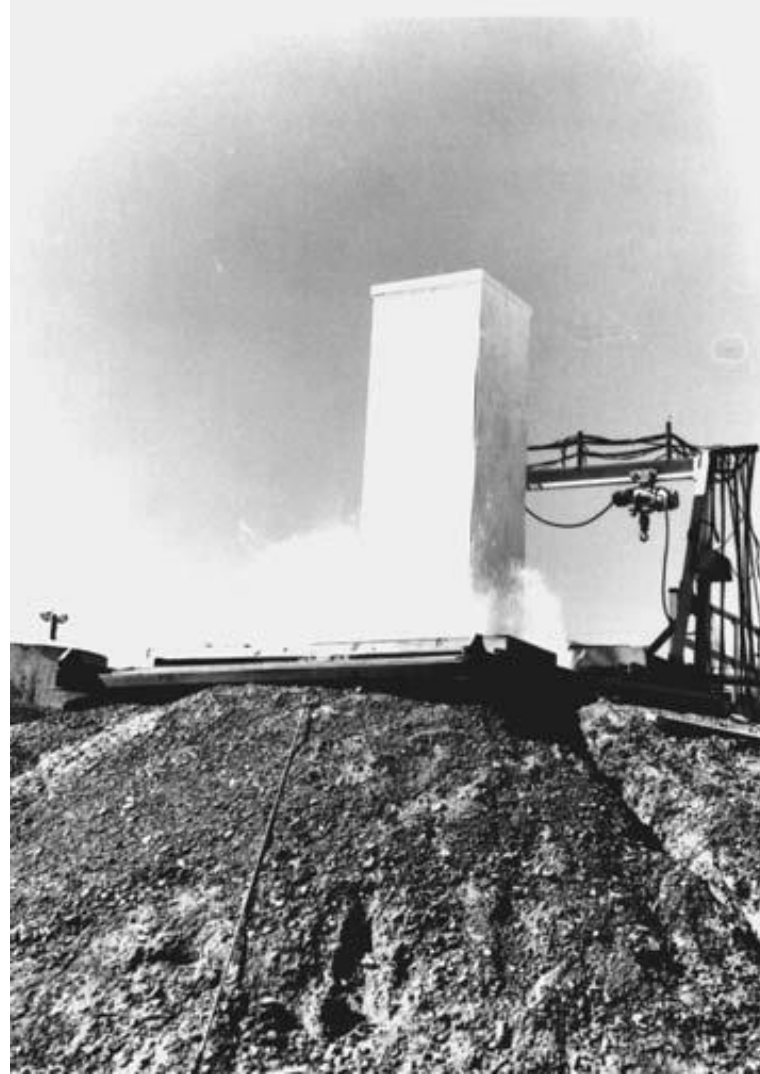
[The Story of the BORAX Nuclear Reactor and the EBR-I Meltdown](#)

[Borax - Safety experiment on a boiling water reactor](#)





Argonne National Laboratory



Argonne National Laboratory

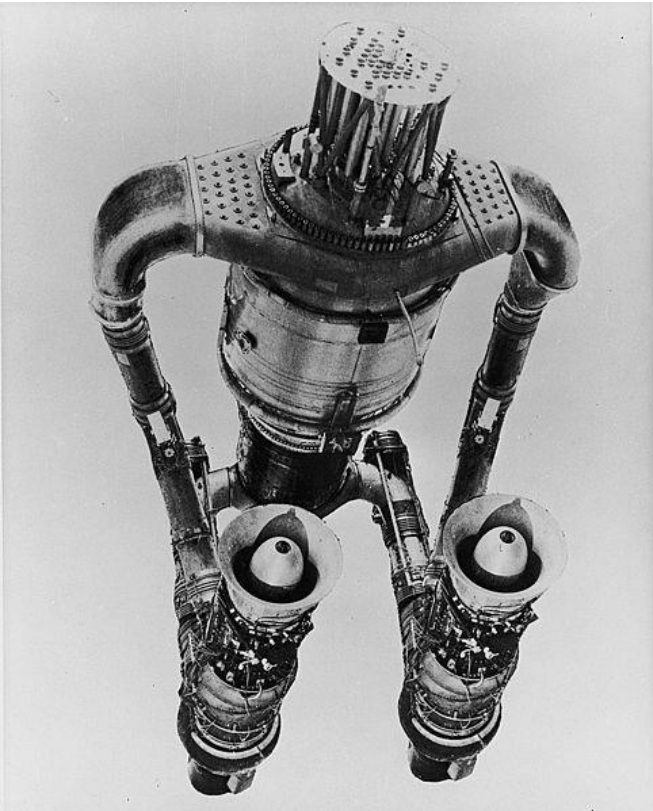


Raskevee reaktor - ajalugu

- Esimene reaktor ZEEP ehitati Manhattani projekti raames Kanadasse, tööle läks 1945
- Esimene demojaam Kanadas 1962 elektrilise võimsusega 22 MW
- Esimene tööstuslik CANDU jaam Douglas Point tuumajaam 1968 elektrilise võimsusega 200 MW



Tuumaeenergiat lendavad lennukid ehk esimesed sulasoolareaktorid



Wikipedia.org



Otsetsükliga:US Aircraft Reactor Experiment (ARE) 2.5 MW_t, kasutas sulaflooriidsoolasid NaF-ZrF₄-UF₄. Oli mõeldud kasutamaks pommitajatel. Aeglustiks BeO. Sekundaarne jahutusahel oli sula naatrium temperatuuriga 860°C. Töötas 1000 tundi 1954. aastal.

Heat Transfer Reactor Experiment-1 (HTRE-1) lennukimootoriga reaktori katsetamine viidi läbi kogu kestusega 5004MWh_t. Järgnes veel HTRE-2 ja HTRE-3.

Kaudse tsükli korral oli vahesoojuskandjaks kas vesi või vedelad soolad.



Wikipedia.org



Tuumaraketid - DRACO



Lockheed Martin



Loviisa tuumaelektrijaam

Kaks VVER-440/213 (Bruto 520MWe, neto 420MWe ja 1500MWt)

Käiku läksid 1977 ja 1981.

Ehitati koos kuplitega ja lääne standarditele vastavalt ning selle tagamiseks osalesid projektis ka Westinghouse ja Siemens.



wikipedia



Tuumajaamad ???



wikipedia



Shoreham Nuclear Power Plant, East Shoreham, New York, USA.

GE BWR 820MW_e. Ehitati 1973-1984. Läks kallimaks kui plaaniti 2 miljardit USD. 1984-1985 tehti 5% võimsuse juures proovikäivitamisi. Peale seda seisati tänu kohalikkude vastuseisule. 1989 kokkuleppel omanikuga kohalikud omavalitsused maksid 6 miljardit USD ning siis hakati jaama lammutama. Turbiin ja kütus kasutati mujal.



wikipedia



Bataan Nuclear Power Plant, Filipiinid

621MW_e Westinghouse PWR. Ehitati peaaegu valmis 1973-1984 (2,3miljardit USD) käiku ei lastud, sest avastati palju defekte ning lisaks tuli välja, et asub potentsiaalse vulkaanile ligidal ja seismiliselt aktiivses piirkonnas. Sellest ajast seisab ning valitsus maksab, et jaam hoitakse korras. On uuritud jaama käivitamist, aga see läheks maksma üle miljardi USD.



wikipedia



Zwentendorfi tuumaelektrijaam, Austria

Esimene Austrias. 1972-1978 1 miljard eurot. 692MW_e BWR. Sai valmis, ei ole päevagi töötanud, sest 5.11.1978 korraldatud referendumil 50,47% elanikkonnast hääletas tuumajaamade vastu.



wikipedia



SNR-300 FBR, Kalkar, Saksamaa

Ehitati 1973-1985 valmis 3,5 miljardi Euro eest, aga tööle kunagi ei läinud. 1991 ametlikult loobuti. 1995 müüdi oksjonil 2,5 miljoni Euro eest ning nüüd on seal lõbustuspark ja hotell 400 kohaga.



<http://www.ausfluege.topin.travel/>



Zarnowiec'i tuumaelektrijaam, Poola

Kavas neli VVER-440 reaktorit. 1983 alustati ehitamist, peale idabloki lagunemist jäeti pooleli. Tugiinfrastruktuur oli peaaegu valmis ja 44% esimesest plokist ka. Eelarvest pool kulutatud. Kaks surveanumat leidsid mujal koolitusvahenditena kasutust. Ülejäänud kaks müüdi vanarauaks. 500 miljonist USD, mis oli kulutatud saadi tagasi 6 miljonit. Järelejäänud jaam rüüstati.



Juragua tuumaelektrijaam, Kuuba

Kavas kaks VVER-440 reaktorit. 1983 alustati ehitamist, peale idabloki lagunemist jäeti pooleli. Esimesest plokist valmis 93% ja teisest 20-30%. Üritati aastaid tulutult ehitust jätkata, kuid 2000ndate algul loobuti. Esimese ploki turbiin viidi ühte soojuselektrijaama asendamaks katki läinud turbiini.

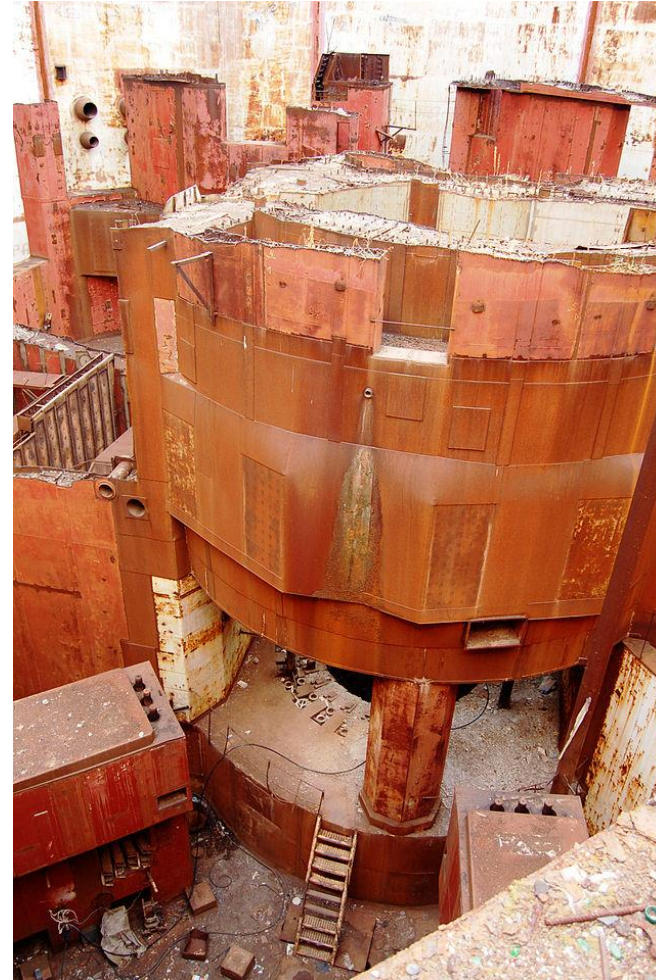


Krimmi tuumaelektrijaam

Ehitust alustati 1978 jäeti pooleli peale Tšornobõli õnnetust, sest asus seismiliselt ebastabiilses piirkonnas. Reaktoriks plaanitud 2*VVER-1000. Esimene plokk 80% valmis ja teine 18%.



wikipedia



2009 andmetel vahemikus 1953-2008 USA-s tellitud 253 tuumareaktorist 48% tellimus tühistati, 11% suleti enneaegselt, 14% seisis vähemalt üks aasta või rohkem ning ainult 27% töötavad ilma rohkem kui aasta pikkuse seisakuta.

Enamus tühistati projekteerimisfaasis, aga ligikaudu 40 reaktori puhul jäeti ehitamine pooleli.

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_canceled_nuclear_plants_in_the_United_States

Marble Hill Nuclear Power Station, Indiana, USA



wikipedia

1977-1984, kaks reaktorit, ehitamiseks kulutati 2,5 miljardit USD. Lammutama hakati 2008.



Tennessee Valley Authority - TVA

Riigi omanduses olev firma. Opereerib hüdro-, söe-, maagaasi- ja tuumajaamu (7).

TVA plaanis ehitada 80ndatel 17 tuumareaktorit, aga valmis sai ainult 5.

Phipps Bend, kavas 2*1285MW BWR, ehitati 1977-1982, kulutati vahemikus 0,75-1,5 miljardit USD. Ei valminud.

Bellefonte, kavas 2x1100MW PWR, ehitati 1974-1988, valmis 90%(55%) ja 58%(35%), kulutatud 6 miljardit USD.

Hartsville kavas 4x1285MW BWR, ehitati 1976-1984, valmis 44%, 34%, 17% ja 7%. Muudetud tööstuspargiks.

Yellow Creek kavas 2x1300MW PWR, ehitati 1978-1984, valmis 30%.

Watts Bar 1 elektrilise võimsusega 1210(1123)MW valmis 1996 ning ehitamist alustati 1973.

Watts Bar 2 elektrilise võimsusega 1210(1123)MW valmis 2016 ning ehitamist alustati 1973, ehitamine katkes 1985 ning jätkati 2007. Teine ehitamisperiood läks maksma \$4,7 miljardit.



Bellefonte Nuclear Generating Station, Hollywood, Alabama, USA

Kaks 1175MW_e B&W PWR reaktorit. Esimene 90% valmis ja teine 55% valmis, kui ehitus katkestati. 6 miljardit USD.



wikipedia



FERMI.