

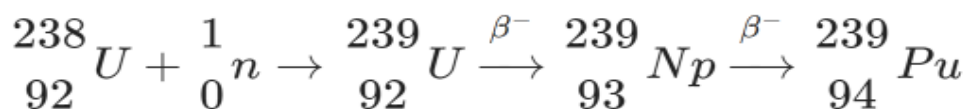
Tuumaenergia sissejuhatus

Kõik teavad juba lapsepõlvest peale,
et see ja teine asi pole lihtsalt
võimalik. Kuid alati leidub keegi
võhik, kes seda ei tea. Tema teebki
avastuse.

Albert Einstein

Füüsika, see on imelihtne!

Plutooniumi tootmise valem

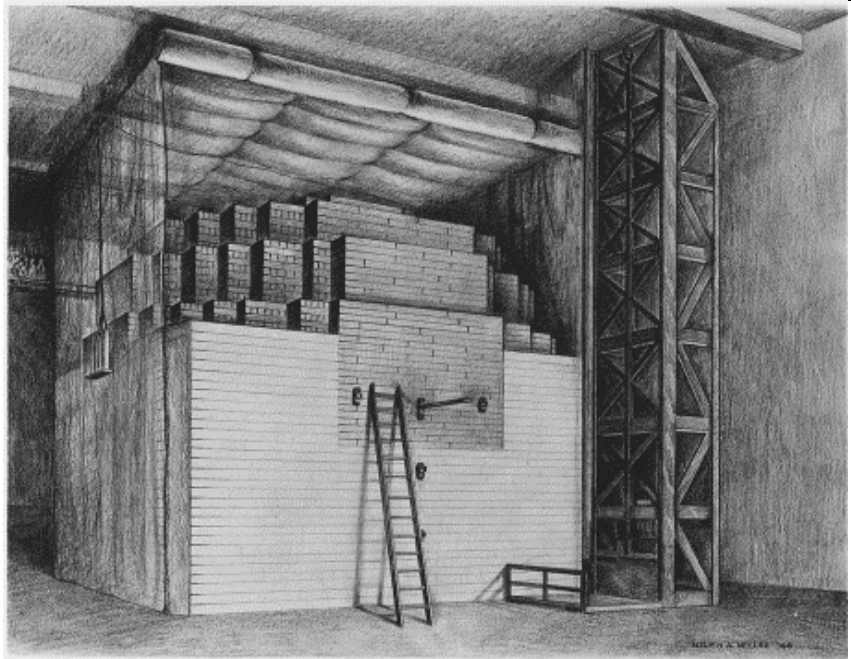


Tuumareaktorites kus uraan-238 muutub neutronite toimel läbi mitme beetalagunemise plutoonium-239-ks.

Isotoobid on aatomid, millel on ühesugune prootonite, kuid erinev neutronite arv. Isotoobid on elemendi teisendid, mis erinevad aatommassi poolest. Aatommassi erinevuse põhjus on neutronite erinev arv tuumas. Tuumade tähistamiseks kasutatakse perioodtabeli sümboleid, mille juurde märgitakse tuuma laenguarv Z (ühtlasi järjekorranumber) ja massiarv A kujul ${}_Z^AX$, kus element X on tabelis järjekohal Z (st tuumas on Z prootonit) ja tuumaosakeste koguarv ehk massiarv on A (st neutroneid on $A-Z$).

${}_{92}^{238}\text{U}$, uraan – 238, tuumas on 92 prootonit ja 146 neutronit ($Z = 92, A = 238$)

Chicago Pile-1 (CP-1)



Maaailma esimene tuumareaktor. 02. detsember 1942 esimene inimeste poolt tehtud tuuma ahelreaktsioon. Antud reaktor oli väga salajane, sest see ehitati Ameerika Manhattani projekti raames, kus ehitati tuumapommi. Reaktor ise ehitati November 1942.

Reaktor koosnes 45 000 väga puhtast grafiidi plokist, kogukaaluga 330 tonni ja tuumakütust (uraaniumi 4,9 tonni ja uraanium oksiidi 41 tonni). Sellel ei olnud mitte mingit radiatsiooni katet ega jahutussüsteemi. Võimsus oli väga väike 0,5 watti. Tuumakütus oli tahke ning kontrollmehhanism varras, mida liigutades sai võimsust reguleerida.

Kuupäevaks 12 detsember 1942 suurendati reaktori võimsust 200 W.

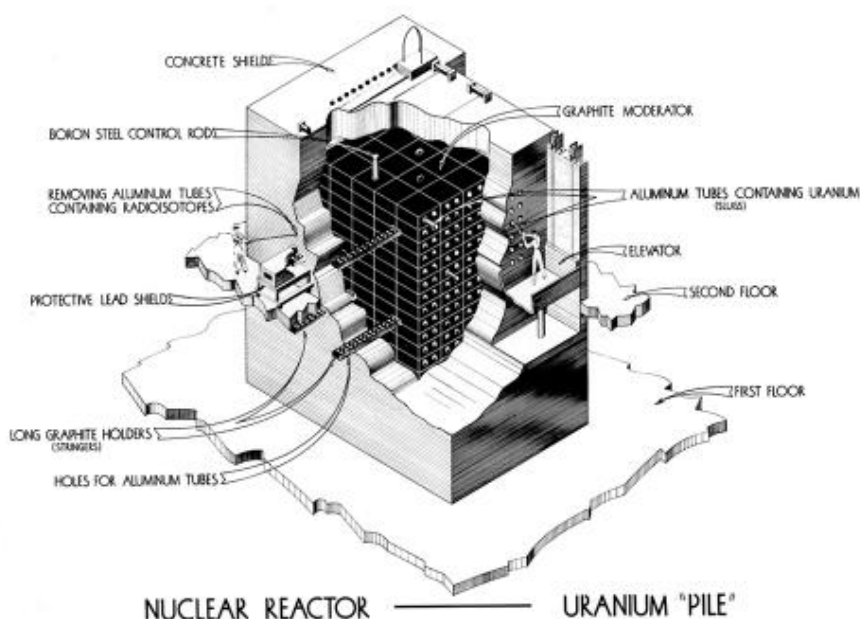
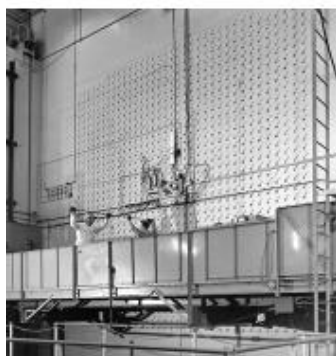
See reaktor oli esimene näide, et tuumareaktsiooni kontrollimine on teostatav ning samas kõhedust tekitav et seda sama reaktsiooni saab ka relvastuses kasutada, mitte ainult elektritootmises.

Algses asukohas töötas ta kuni 28 veebruar 1943 aastani, mil see lammutati ning pandi uuesti uues asukohas kokku ning nimetati ümber Chicago Pile-2 (CP-2). Mõõtmed 7,6 m korda 7,6 m ning kõrgus 9,1 m. Selle ümber oli betoonsein paksusega 1,5 m (see oli radiatsiooni kaitseks) lae alla paigaldati 15 cm paksune tina kiht ja 130 cm puitu. Uues kohas töötas ta kuni 1954, mil ta lammutati lõplikult ja maeti 12 meetri sügavusele. Kuigi kõik oli tol ajal väga salajane, anti reaktorile 19 detsembril 1944 patent numbriga 2,708,656.



Mälestuskivi, mis pandi esimese reaktori asukohta seda meenutama.

X-10 Graphite Reactor

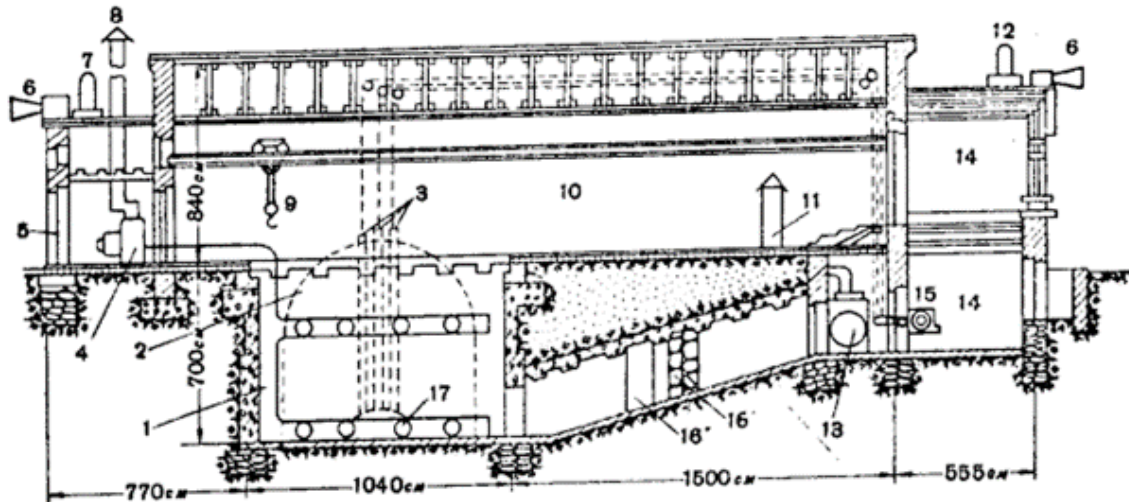


See reaktor on esimese edasi arendus ning mõlemad ehitati Manhattani projekti raames. Pildil on näidatud kuidas töölised lükkavad vardaga uraaniumi reaktori betooni. See reaktor ehitati, et tehnoloogiaid ja protseduure parandada ning õpetada inimesi. Reaktor on õhk jahutusega. Jahutuseks oli 3 elektriventilaatorit, mis liigutab 1600 kuupmeetrit õhku igas minutis. 2 veebruaril 1943 asuti reaktorit ehitama, tööle hakkas see 4 novembril 1943 ning esimese koguse plutooniumit tootis 1944 aasta alguses. Plutoonium toodeti Los Alamoses laboris. Plutooniumi toodeti 1945 aasta jaanuarini, mil seda oli toodetud 50 kg pommi valmistamiseks sobivat kraami. Peale seda muudeti reaktor teaduslikuks ehk tema edasine töö seisnes teaduslikes avastustes. Töö lõpetati aastal 1963 ning aastal 1965 aastal muudeti rahvuslikuks maamärgiks (National Historic Landmark).

Reaktorit piiras see, et kütus pandi alumiiniumi sisse, mis tähendas, et töö temperatuur ei tohi olla suurem kui 200 kraadi Celsiust.

Reaktori ümber on 2,1 meetrine betooni kiht, mis on radiatsiooni kilbiks. Reaktori mõõdud on 12 m korda 14 m ja 9,8 m kõrge. Reaktori esiküljel oli 36 rida, igas reas 35 auku. Reaktor kasutas kaadmiumi kattega terasest kontrollvardaid.

Vardad kaeti kaadmiumiga, sest see imab neutrone. Varrastega saab reaktsioone aeglustada ja lõpetada. Varraste pikkus on 2,4 meetrit.



F-1

Venelaste esimene reaktori katsetus oli F-1.

Lülitati sisse 25 detsembril 1946.

Lõplikult lülitati välja 2016 novembris.

Võimsus 24 kW. Kasutas kütusena ^{235}U isotoopi.

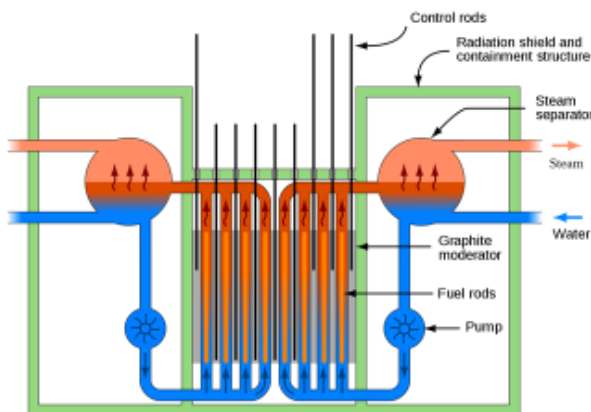
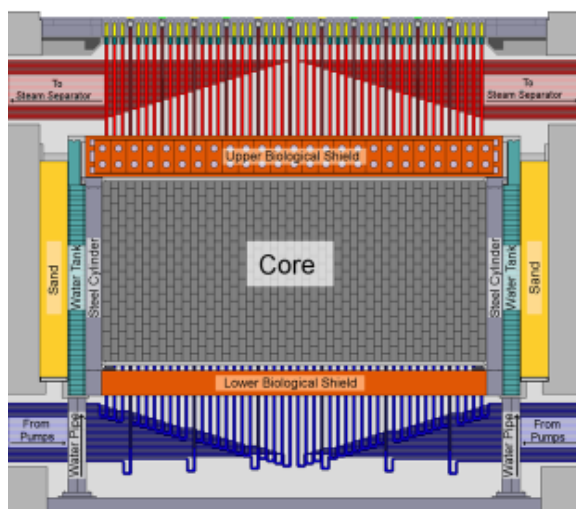
Reaktor oli kera kujuline, mille diameeter oli 6 meetrit.

Grafiidi kaal 400 tonni ja uraaniumi kaal 50 tonni.

Sund õhk ventilatsioon ventilaatoritega.

Obninsk AM-1 "Атом Мирный"

РБМК - Реактор Большой Мощности Канальный, РБМК



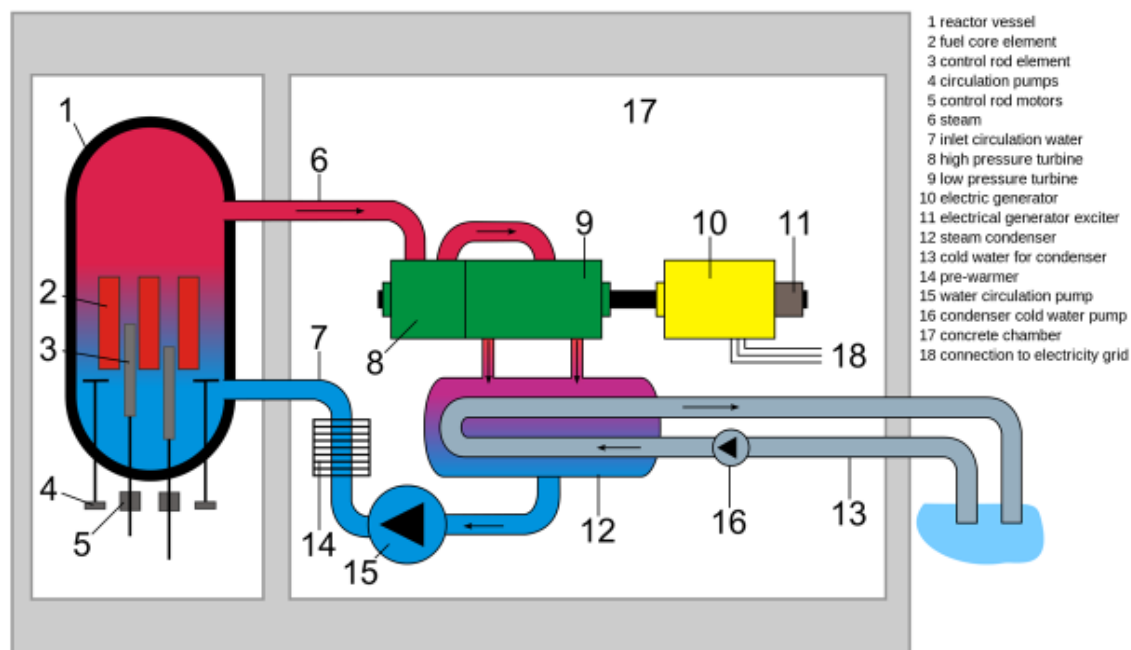
27 juunil 1954 lülitati tööle RBMK reaktor, mis oli esimene tuumareaktor mis toitis avalikku elektrivõrku. 29 aprill 2002 lülitati reaktor välja. Elektri tootmine lõpetati 1959 ning edasi oli reaktor nn teaduslik.

Elektriline võimsus 5 MW saavutati 30 MW soojusvõimsusega.

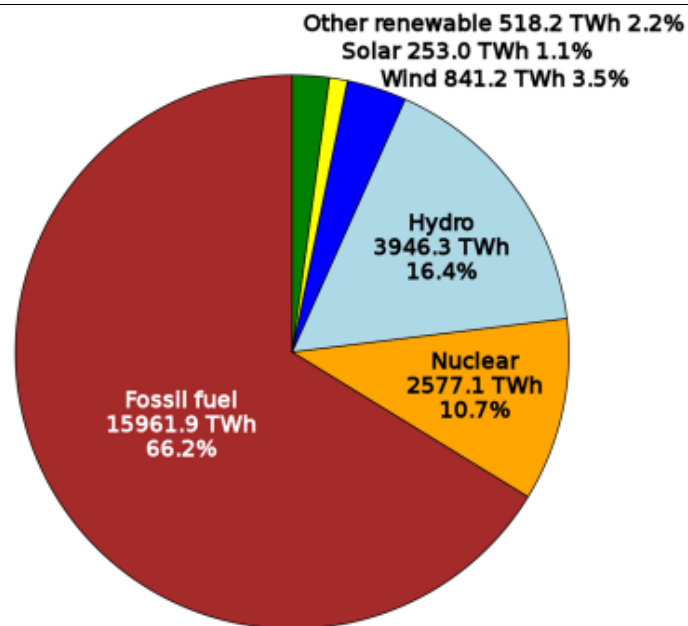
Reaktor töötas nn Teaduse linnas, mis asus Obninskis, Kaluga oblastis, mis on Moskvast 110 km kaugusel. Kütuseks kasutas 5% rikastatud uraaniumi.

Kuna sama reaktori tüüp oli ka Tsernobõlis siis peale seda katastroofi rohkem neid tööle ei pandud, kuid mis olid töö need töötasid edasi. Obninsk AM-1 "Атом Мирный", ehk rahu aatom. Reaktori mõõdud on 21,6 m korda 21,6 m ja kõrgus 25,5 meetrit.

Bioloogiline kate/kaitse on materjal, mille ülesanne on neelata radiatsiooni, et see muuta inimestele ohutuks. Selleks materjaliks on tavaliselt mitme meetrine betooni kiht või õhuke plii kiht.

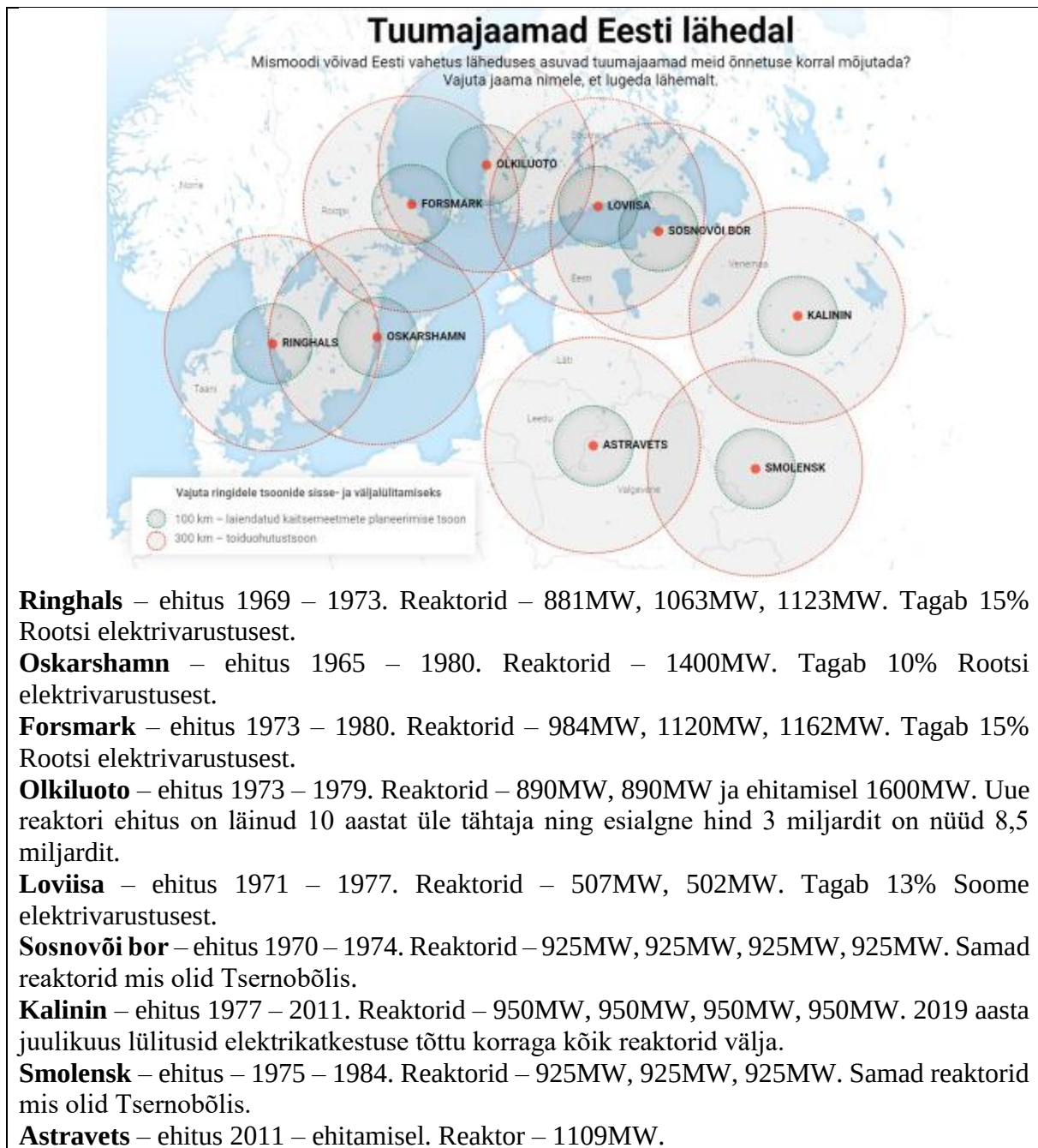


Tuumaelektrijaama skeem.

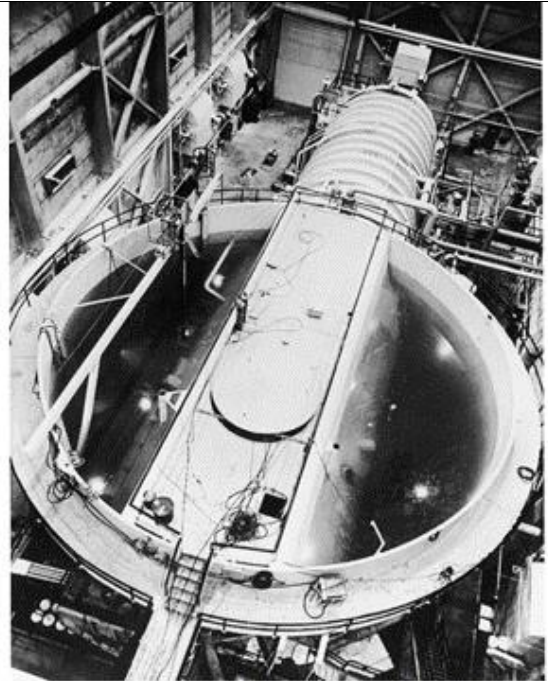


World Electricity Generation by Source (2015)

Kas ehitada Eestisse tuumaelektrijaam?



S1W



Esimene transpordivahendil olev reaktor. Reaktor S1W oli esimene prototüüp, mida paigaldada USA Mereväe allveelaevale, et toota elektrit ning viia laeva edasi.

Reaktor on surve vee reaktor, mis kasutas jahutusena vett ja kütusena rikastatud Uraani-235. Reaktor lülitati tööle 30 märtsil 1953 ning reaktor töötas järjest 100 tundi, et simuleerida allveelaeva sõitu Ameerikast Iirimaaale. Lõplikult lülitati reaktor välja 17 oktoobril 1989.

S1W

S – submarine platform

1 – first generation core designed by the contractor

W – Westinghouse was the contracted Designer



USS Nautilus (SSN-571)



Laevale algne prototüüp ei jõudnud. Laevale paigaldati natuke uuendatud variant S2W USA Mereväe allveelaevale, et toota elektrit ning viia laeva edasi. Laeva nimi on USS Nautilus (SSN-571).

Laev lasti vette jaanuaris 1954.

Laeva veekatsed toimusid 20 jaanuaril 1955.

Laeva mõõdud: pikkus 98 m, beam 8,5 m, draft 7,9 m.

Installeeritud võimsus 13 400 hp ehk 10 000 kW

Kiirus 43 km/h

Personal 13 ohvitseri ja 92 madrust

Relvastus 6 torpedo toru

S2W

S – submarine platform

2 – second generation core designed by the contractor

W – Westinghouse was the contracted Designer

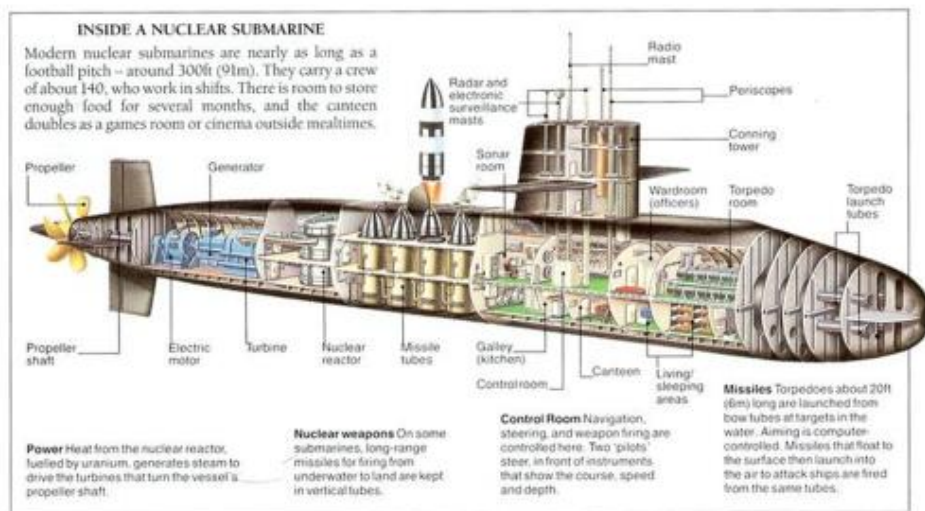
Operatsioon „Päikesepaiste“

SHIP'S POSITION			
U. S. S. NAUTILUS			
TO: COMMANDING OFFICER			
TIME OF DAY		DATE	
1915U		3 August 1958	
LATITUDE		LONGITUDE	
90° 00.0' N Indefinite		—	
BY (Indicate by check in box)			
☒ NGA	☒ MKW	☐ ANKER	☐ VISUAL
EST	DRIFT	DISTANCE MADE GOOD SINCE (TIME) (MILES)	
—	—	Honolulu 4844	
COURSE TO		WIND	
North Pole		Zero	
TRUE HEADING	ANGLE	VARIATION	
180 MK19	3 E MK19	0°	
MAGNETIC HEADING (TRUE HEADING)		M G	
180		244 359	
☐ STD	☐ DEPTH	☒ SURFACE	☐ OTHER
DIRECTION		SUN TABLE DIRECTION	
126 E		3° W	
REMARKS			
NGA DR		NGA	
0 = 0		R1 = 0	
N = 0		R2 = 0	
		R3 = 1°	
RESPECTFULLY SUBMITTED (Signature)			
LT J. H. Gandy, USN			

Laeva saavutus oli, et läbis sukeldunult Põhjapooluse 3 augustil 1958. Kuna jää on Põhjapoolusel väga paks kohati 20 meetrit ning selle välja suurus 9-12 miljonit km² ja selle sees on 2,6 miljonit km³ jääd. Jää all sõites mängisid navigatsiooni riistad aeg ajalt vimpkasid, mistõttu tuli täpse asukoha teada saamiseks torpedodega auke jäässe teha, et siis ilma jää segava faktorita enda asukoht täpselt paika panna ning sealt edasi arvutada oma edasised asukohad.



Nüüd on laev muudetud muuseumiks ning on jäädavalt kaldale kinnitatud. Laeva külastab 250 000 külastajat aastas.



Tänapäeva tuumaallveelaev. Esimesel tuuma allveelaeval oli 6 torpeedo toru, praegusel on palju rohkem relvastust.



Vladimir Ilyich Lenini nimeline tuumaelektrijaam

Meie teame seda kui Tsernobõli tuumajaama, kuid selle jaama juriidiline nimi on Vladimir Ilyich Lenini nimeline tuumaelektrijaam. Tuumaelektrijaam sai nime linna järgi ja asus Tsernobõli rajoonis, kuid linna ja elektrijaama vahel polnud otsest seost. Enamik tuumaelektrijaama töötajaid elasid spetsiaalselt neile rajatud linnas Pripjat. Tsernobõli nimi tuleneb harilikult puu ukrainakeelsest nimest.

Enne katastroofi elas linnas umbes 15 000 inimest. Praegu elab linnas kuni 500 inimest, kes käivad seal tööl vahetustes, enamik neist elavad muul ajal Slavutitšis. Kuigi tuumaelektrijaam on suletud, läbivad piirkonda olulised elektriliinid, mida on vaja hooldada. Samuti tegelevad paljud inimesed muude tehnovõrkude ja loodusega seotud hooldustöödega. Linnas ei tohi elada lapsed.



Pripjati hakati rajama 4. veebruaril 1970. Esialgu taheti linn koos tuumaelektrijaamaga rajada 25 km kaugusele Kiievist, ent teadlaste soovitusel valiti lõpuks praegune asukoht 100 km kaugusel Kiievist Valgevene piiri ääres.

Linn asub umbes 3 km kaugusel Tsernobõli tuumaelektrijaamast. Seal elasid elektrijaama töötajad. Pärast tuumakatastroofi evakueeriti kõik linna ja ümbruskonna külade elanikud. Tänapäeval on linn inimtühi. 1986. aastal elas linnas 49 400 inimest.

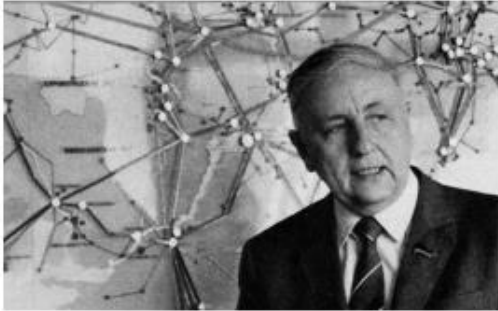
Linnas oli hästi varustatud pood, mida alati külastasid ka tuumajaama külalised, sest mujal Nõukogude Liidus ei olnud tavaline, et pood oleks nii hästi varustatud.



Reaktor	Tüüp	Ehituse algus	Sisse lülitamine
1	RBMK-800	Märts 1970	September 1979
2	RBMK-1000	Veebruar 1973	Detsember 1978
3	RBMK-1000	Märts 1976	Detsember 1981
4	RBMK-1000	Aprill 1979	Detsember 1983
5	RBMK-1000	Detsember 1981	-
6	RBMK-1000	Detsember 1983	-

1970 – tuumajaama ehitus.

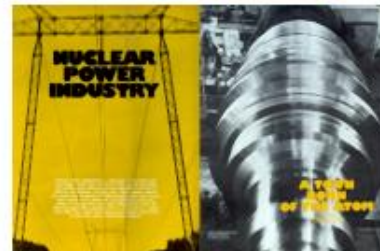
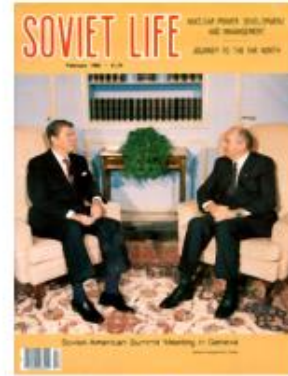
1976 oktoober - Jahutusvee reservuaari täitmise alustamine. Reservuaari suurus on 22 km². Reaktorite 5 ja 6 ehitust küll alustati kuid peale katastroofi võeti vastu otsus need mitte valmis ehitada.



Vitali Sklyarov, Ukraina Elektrifitseerimise Minister

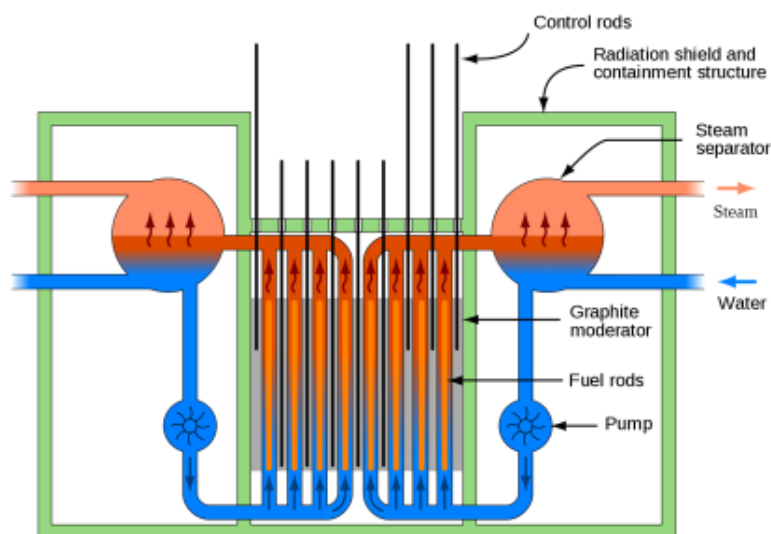
„Tõenäosus reaktori sulamiseks on üks 10 000 aasta kohta. Jaamad on ohutud ja usaldusväärsete juhtimisseadmetega, mis on kaitstud igasuguse rikke eest kolme turvasüsteemiga.“

Veebruar 1986



Intervjuu kus kinnitati jaamade ohutust. See ilmus vaid mõni kuu enne katastroofi.

RBMK - Реактор Большой Мощности Канальный, RBMK



Tsernobõl kasutab reaktori jahutamiseks 28 000 liitrit vett igas tunnis. Jahutus peab töötama ka siis kui elektri tootmine mingil põhjusel ära kukub, mistõttu on reaktoril 3 tagavara diisel generaatorit, mis peavad käivituma 15 sekundiga. Tegelikult käivitusid nad 60 sekundiga, et tagada 5,5 MW elektrienergiat pumpade töös hoidmiseks. Minutiline vahe mis oli loodetu ja tegelikkuse vahel loodeti, et pumpade inerts (ehk töötavad inertsist ilma toiteta edasi) katab selle minuti ära. Sel saatuslikul päeval just seda kontrolli tahetigi teha. Eelnevalt oli sama katse tehtud aastatel 1982, 1984, 1985 mis kõik lõppesid järelusega, et asi ei tööta ning neljas katse pidi plaanide järgi toimuma 1986.

25 aprill 1986 – reede

13:05 – alustatakse planeeritud katsega
14:00 – Kiievi elektrivõrgu dispetšer
16:00 – päevane vahetus lahkub
23:10 – Kiievi elektrivõrgu dispetšer annab loa katsega alustada

26 aprill 1986 – laupäev

00:28 – võimsus langeb alla ohutu taseme
01:00 – võimsus taastub
01:23:04 – alustatakse ametlikult katsega
01:23:40 – katse algusest on möödunud 36 sekundit
01:23:45 – kontrollvardad
01:24:00 – katse algusest on möödunud 56 sekundit

Ajatelg, mis eelnes avariile.

Kell 14:00 keelatakse katset läbi viia, sest tegu on kuu lõpuga kus on vaja täita kuunormid.

Kell 00:28 meeskond üritab võimsust tõsta viies enamus kontrollvardaid reaktorist välja.

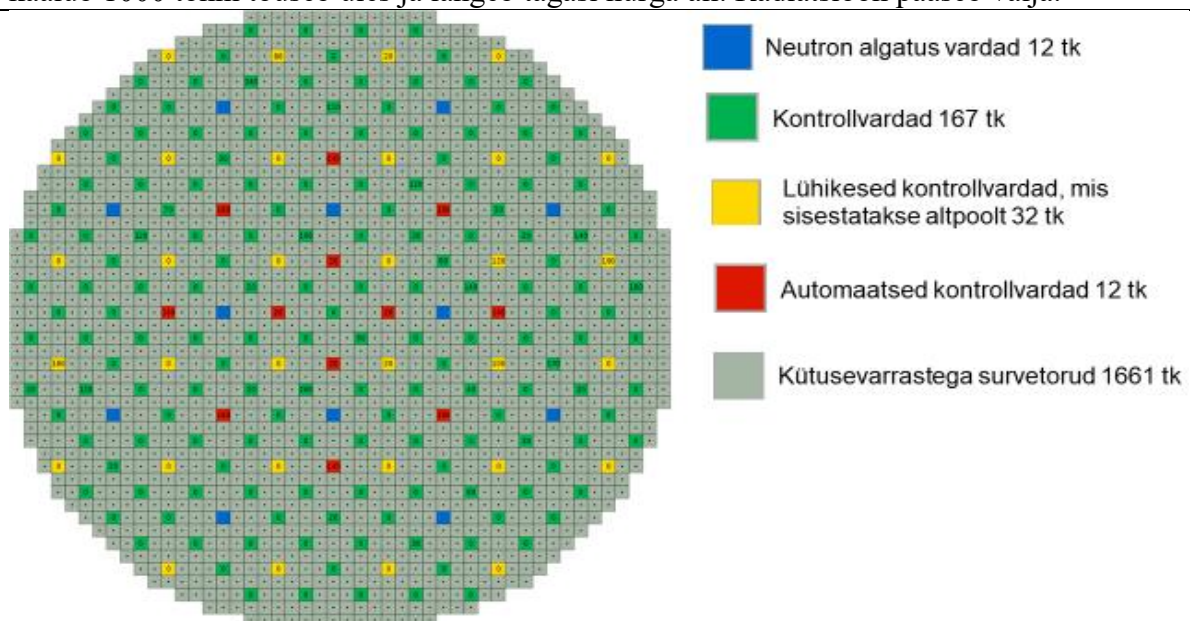
Kell 01:00 peale võimsuse taastumist antakse käsk katsega edasi liikuda, turvasüsteemid lülitatakse välja.

Kell 01:23:04 võimsus kasvab hüppeliselt.

Kell 01:23:40 reaktori temperatuur on 4 650 C. Kontrollvarraste korgid, mis kaaluvad igaüks 350 kg hüppavad üles ja alla. Vajutatakse nuppu millega viia kontrollvardad uuesti reaktorisse – plaan on viia need 7 meetri sügavusele, kuid 2,5 meetri juures jäävad nad seisma.

Kell 01:23:45 kontrollvardad hakkavad reaktorisse liikuma, kuid need jäävad kinni, sest pesad milles vardad liiguvad on suure rõhu tõttu deformeerunud.

Kell 01:24:00 jahutusvesi aurustub, rõhk suureneb ning toimub plahvatus. Reaktori kaas, mis kaalub 1000 tonni tõuseb üles ja langeb tagasi nurga all. Radiatsioon pääseb välja.



Pildil olevad numbrid näitavad varraste sisestatud sügavust katastroogi ajal.

Originaal salvestus tuletõrjude kutsumisest tuumaelektrijaama:
<https://www.youtube.com/watch?v=ttpzZXDnKQ8>

26 aprill 1986 – laupäev

01:26:03 – antakse tuletõrje häire
01:28 – saavad kohalikud tuumajaama tuletõrjujad, Vladimir Praviku brigaad
01:35 – saavad tuletõrjujad Pripjat linnast, Kibenoki brigaad
01:40 – saabub Leonid Telyatnikov (Tuumajaama tuletõrje üksuse ülem)
02:10 – turbiini halli katuse tuli on kustutatud
02:30 – reaktori halli katuse tuli on maha surutud
03:30 – saavad tuletõrjujad Kiievist
04:50 – tulekahjud on lokaliseeritud
06:35 – kõik tulekahjud on kustutatud, välja arvatud reaktori tulekahju

27 aprill 1986 – pühapäev

10:00 – helikopterid alustavad reaktori matmist



Kuna kopteritega ei saanud reaktori kohale lennata – liiga suur radiatsioon ning nad pidid materjali, millega reaktorit kaeti eemalt peale viskama läks ka suur hulk materjali valesse kohta.



Biloogilised robotid, ehk sundkorras saadetud inimesed reaktori hoone katust puhastamas.



Et radiatsiooni vähendada pesti maju ja teid ning kooriti pinnast.



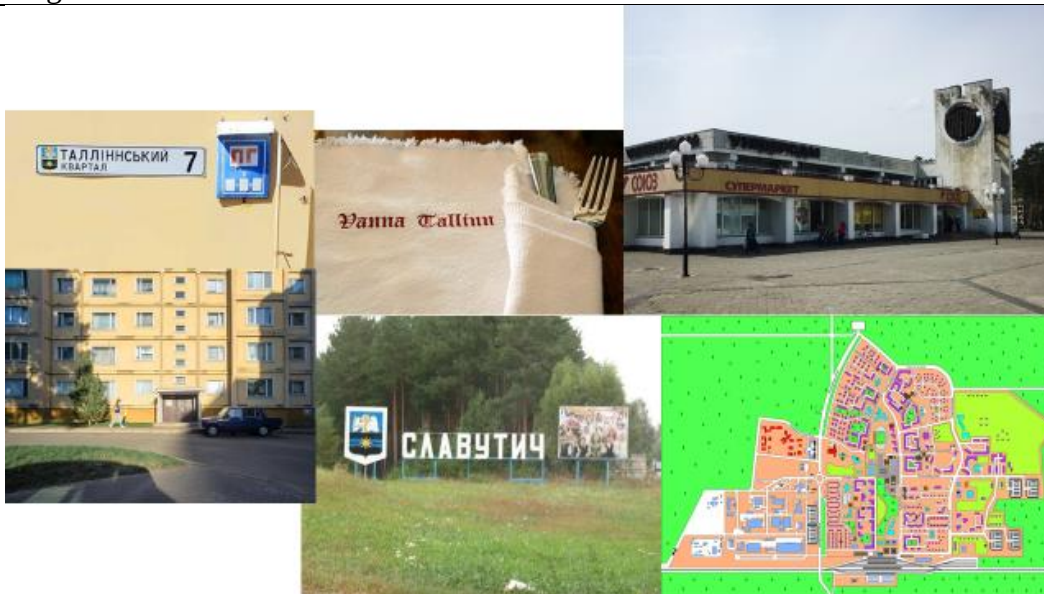
Kogu tehnika millega katastroofi likvideeriti tuli maha jätta, sest see oli tsoonist välja viimiseks liialt radioaktiivne. Peale katastroofi kandis ka tuul saastunud osakesi mööda Euroopat laiali saastades suuri pindalasid.

Originaal salvestus linna evakueerimiseks:

<https://www.youtube.com/watch?v=1l3g3m8Vrgs&t=1s>



Kuna inimesi ei lastud enam kunagi tagasi nende kodudesse siis hakkasid seal tegutsema vargad.

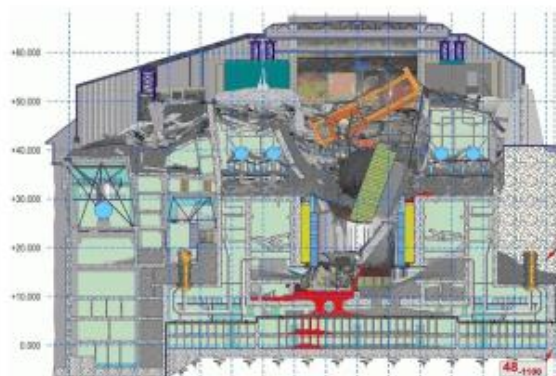


Slavutõtš 200 km Kiievist põhja pool Dnepri vasakkalda lähedal. Linn asutati 1986. aastal Tšornobõli katastroofi eest evakueeritud Pripjati elanike jaoks. Rohelusega ümbritsetud eramajad Tallinna kvartalis. Kokku ehitati linna kolmteist kvartalit, mis igaüks olid projekteeritud iga NSV Liidu territooriumi (liiduvabariigi) arhitekti poolt ning nimetatud nende maade pealinnade või regioonikeskuste — vastavalt Bakuu, Belgorodi, Vilniuse, Dobrinini, Jerevani, Kiievi, Leningradi, Moskva, Petseri, Riia, Tallinna, Tbilisi ja Tšernigivi järgi. Sellest johtuvalt on igal kvartalil oma arhitektuurne iseloom ja väljanägemine.

Linnas asuv Tallinna kvartal oli rajatud Eesti ehitajate ja arhitektide poolt; üheks neist oli arhitekt Tiiu Argus, kes osales ka linna planeerimisel. Tallinna kvartalis annavad tooni eramajad, mida ümbritsevad rohelus, puud ja aiamaad. Kvartalis on muuhulgas restoran "Старий Таллінн" ("Vana Tallinn").

Linnast läheb raudtee läbi Valgevene ala endise tuumajaama juurde, mis asub 50 km linnast lääne pool.

Reaktor	Tüüp	Ehituse algus	Sisse lülitamine	Välja lülitamine
1	RBMK-800	Märts 1970	September 1979	November 1996
2	RBMK-1000	Veebruar 1973	Detsember 1978	Oktoober 1991
3	RBMK-1000	Märts 1976	Detsember 1981	Detsember 2000
4	RBMK-1000	Aprill 1979	Detsember 1983	Aprill 1986
5	RBMK-1000	Detsember 1981	-	-
6	RBMK-1000	Detsember 1983	-	-



Esimene sarkofaag, mis rajati peale katastroofi.

Video, mis näitab kuidas uus sarkofaag paigaldati.

<https://youtu.be/ZP7ILYtrEK8>



Esialgu 02 mail 1986 Nõukogude Armees poolt tehti turvatsoon 30 km raadiusega ümber tuumajaama. Selles alas olevad inimesed evakueeriti. Peale seda on see ala suurenenud ning kogu ala on 2 600 km². 2019 veebruaris toimusid kõnelused teemal, et kas saab seda ala vähendada, kui radioaktiivsus on vähenenud.

Tšornobõli satelliidipilt kosmosejaamalt "Mir" 27. aprillil 1997. (vasakult poolt).



Medalid mida anti katastroofi tagajärgede likvidaatoritele. Osalet rohkem kui 600 000 inimest.



Linna vaated. Enne ja pärast.

Tuntud 26 meetrine vaateratas "Круговой обзор" ('Lai ülevaade')
Põrkeautod "Автодром" ('Autodroom')
Paratrooper "Ромашка" ('Kummel')
Kiiklaevad "Русские качели" ('Vene kiik')
Pargis on ka karnevali laskmismängud



Lõbustuspargi esimene avamine pidi toimuma 1. mail 1986. aastal, mil tähistatakse ka Töörahvapüha. 26. aprillil toimus paari kilomeetri kaugusel Tsernobõli katastroofi ning tänu sellele ei pidanud avamist toimuma. Mitmetes allikates on kirjas, et park siiski avati 27. aprillil enne linna evakueerimise väljakuulutamist ja ühel saidil on olemas ka pildid tegevusest. Oletati, et lõbustuspark avati vaid selleks, et elanike tähelepanu õnnestusest eemale juhtida. Need oletused on tõestatud, sest paljud atraktsioonid ei olnud lõpuni ehitatud (Paratrooper'il polnud varikatused korralikult paigaldatud ja lõpetamata oli ka vaateratta vooderdus). Igal juhul on park ja selle vaateratas muutunud Tsernobõli katastroofi sümboliks. Kiirgusastmed ümber pargi on erinevad. Pärast seda, kui radioaktiivseid materjale kandnud helikopterid kasutasid maad maandumisrajana, uhuti kiirgus mulda. Seetõttu on betoneeritud alad suhtelised ohutud.

Vaaterattast tehti uudis 2017. aasta septembris kui Poola turistid seda pöörasid, sest viimati tehti seda 1986. aastal. Hiljem pöörati see oma originaalsesse asendisse tagasi.



Paneelide ala 1,6 hektarit
Võimsus 1 MW
Paneele 3762 tk

Ehituse algus 2017
Elektritootmise algus 2018 Q1