

KJARNORKUVÉR FYRIR
VESTMANNAEYJAR

Lýsing á tilboði General
Electric.

Eftir

Ejörn Kristinsson

Orkudeild Raforkumálastjóra

Reykjavík

Marz 1959

Í byrjun árs 1958 fengu rafmagnsveitur ríkisins tilboð í lítinn suðuvatnsreaktor frá General Electric og voru þá Vestmannaeyjar einkum hafðar í huga sem væntanlegur staður fyrir reaktorinn. Með reaktor sem þessum mætti sjá eyjunum fyrir raforku, og jafnframt gæti hann verið undirstaða hitaveitu fyrir kaupstaðinn. Utan mesta álagstíma almennrar notkunar gæti reaktorinn séð varmafrekum iðnaði fyrir orku og æskilegt væri, að sem mest af orkunni sé seld sem varmi, því að þannig yrði reaktorinn rekinn á hagkvæmasta hátt.

Staðsetning

Kjarnorkuver þetta má staðsetja á flestum stöðum þar sem landrými er fyrir hendi. Yfirleitt eru slíkar stöðvar hafðar ofanjarðar, en t.d. í Noregi og Svíþjóð, tíðkast einnig að hafa þær neðanjarðar til að einangra þær frá umhverfinu og minnka þar með enn meir líkurnar fyrir óhöppum. Ofanjarðarreaktor af þeirri gerð, sem nefndur er í tilboðinu þyrfti um 2 ha landrými.

Reaktor af svipaðri gerð hefur General Electric reist við Vallecitos í Kaliforníu og er hann sýndur á mynd 1. Inni í kúpunni er reaktorinn og hefur kúpan sjálf ekki aðra þýðingu en þá, að fyrirbyggja að geislavirkt ryk geti komið út í umhverfið.

Gufukerfi

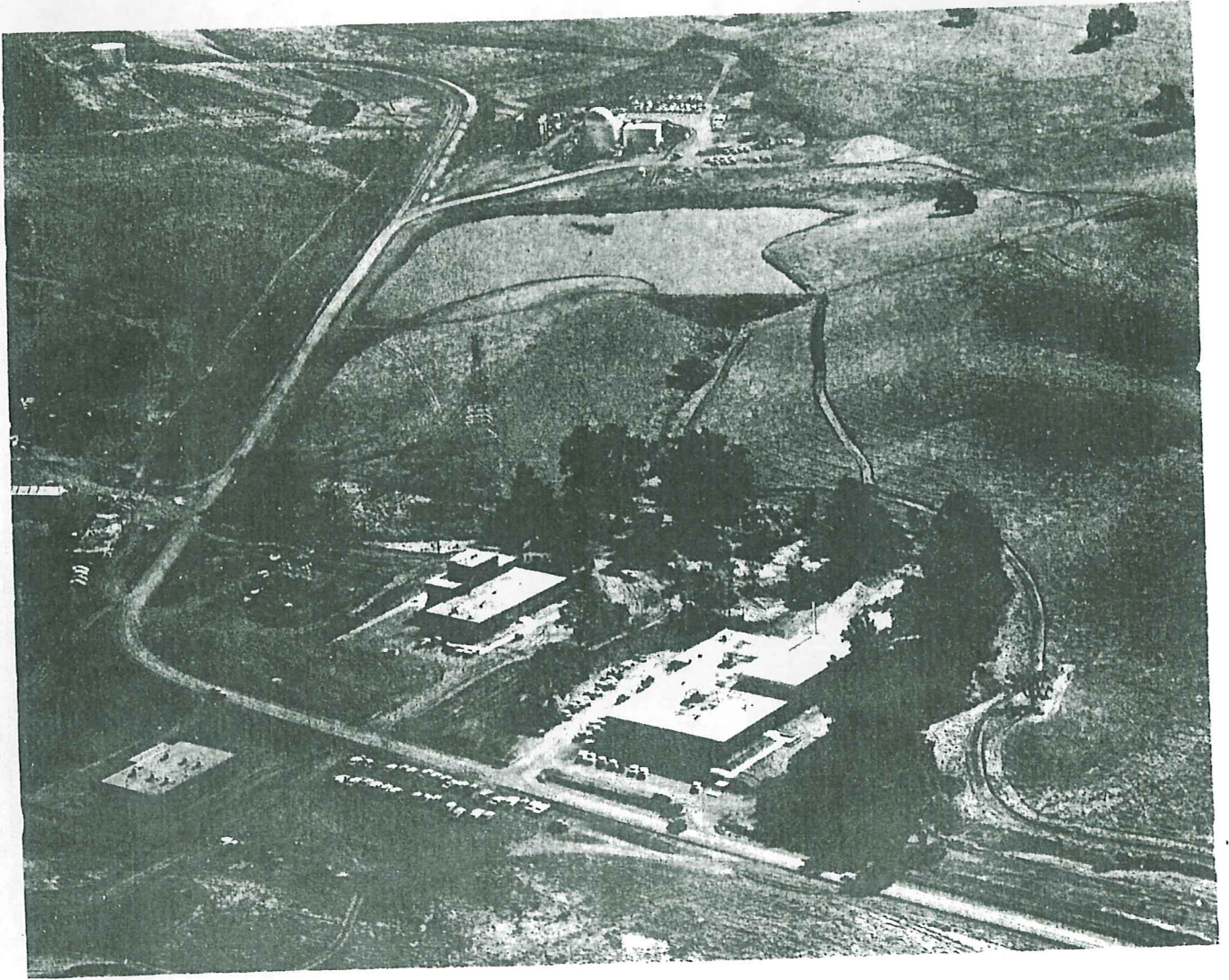
Reaktorinn er suðuvatnsreaktor með léttu vatni og auðuguðu úraníum og er gefinn upp þannig:

Reaktor:

Varmaafli reaktors	26,2 MW
Þrýstingur í reaktor	42,5 aty (yfirþrýstingur) (625 psig)
Fjöldi eldsneytishylkja	52
Úranhleðsla	2.680 kg (5.920 lbs)

Aflstöð:

Eimhverfill með 63,5 mm Hg mótþrýstingi	6,25 MW
Rafali	6,25 MVA
Áætluð stöðvarnotkun	625 kW
Netto afl ($\cos\phi = 1$)	5.625 MW
Gufuþrýst. við hverfilla loka	41 aty (600 psig)
Gufuhiti við hverfilla loka	253°C (487°F)
Heildargufustreymi af þurri gufu	36.000 kg/h (79.500 lbs/hr)



*Aerial View of General Electric Vallecitos Atomic Laboratory,
Pleasanton, California*

G. E. - S - 101

ATOMIC POWER EQUIPMENT DEPARTMENT

GENERAL  ELECTRIC

Gufukerfi stöðvarinnar (mynd 2) er einfalt kerfi og veldur það nokkurri geislaögnun á einhverfli stöðvarinnar. Í reaktornum er frjáls hringrás og fer vatnið upp gegnum eldsneytiskjarnann og tekur að sjóða, gufan með um 6% vatni fer í gufupurrkara og er þar vatnið skilið frá og fer það aftur í reaktorinn, en mettuð gufa fer beint til hverfilsins. Hluta af gufu hverfilsins má síðan senda gegnum fæðivatnshitara. Frá eimsvala fer þéttivatnið gegnum dælur, vatnshreinsara, lofteyði, fæðivatnshitara og aftur til reaktorsins. Gufukerfinu tilheyrir einnig varaéimsvali til notkunar þegar hverfillinn og eimsvalinn geta ekki tekið við framleiddri gufu, t.d. þegar álag er skyndilega tekið af eða hringrásarvatn vantar. Hvortveggja leiðir til þess að reaktorinn er stöðvaður, en þessi kæling kemur í veg fyrir ofhitun hans. Sérstakur kælibúnaður er til þess að kæla reaktorinn, þegar hann er ekki í gangi og verið er að vinna við hann. Auk þessa tilheyrir gufukerfinu sérstök vatnshreinsunar-tæki og eiga þau að halda vatninu mjög hreinu og koma þannig í veg fyrir að efni úr vatninu falli út og setjist á eldsneytisstafina og torveldi varmaflutning.

Mæling og stýring

Eins og sjá má af mynd 3 er hér einkum um þrjú kerfi að ræða, en þau eru:

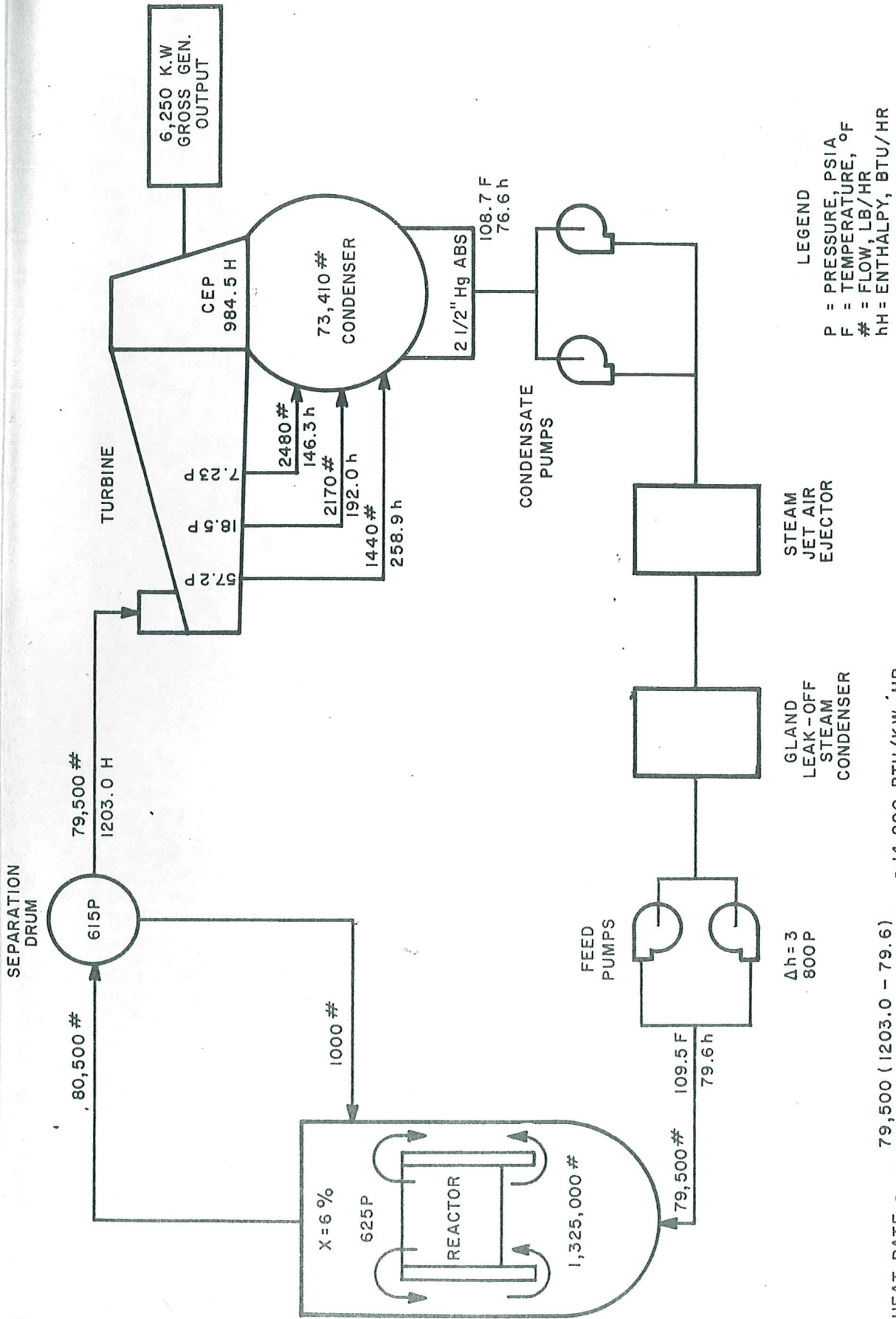
1. Mælikerfi
2. Stýrikerfi
3. Öryggiskerfi

1. Mælikerfið tekur eingöngu við upplýsingum um ástand reaktors, gufukerfis, hverfils og rafala og flytur þær til stjórnborðsins og þar eru þær gefnar til kynna með mælum, ljósum eða á annan hátt.
2. Stýrikerfið framkvæmir eingöngu skipanir frá stjórnborðinu. Til samans vinna þessi tvö kerfi að öllu því er viðvíkur venjulegum rekstri.
3. Öryggiskerfið tekur við upplýsingum frá nokkrum mælitækjum og framkvæmir aðgerðir sem leiða til þess að reaktorinn stöðvast þegar í stað, ef mælitækin gefa til kynna að slíks sé þörf.

Auk handstýringar er hægt að hafa sjálfvirka stýringu á reaktornum, en það er ekki nauðsynlegt.

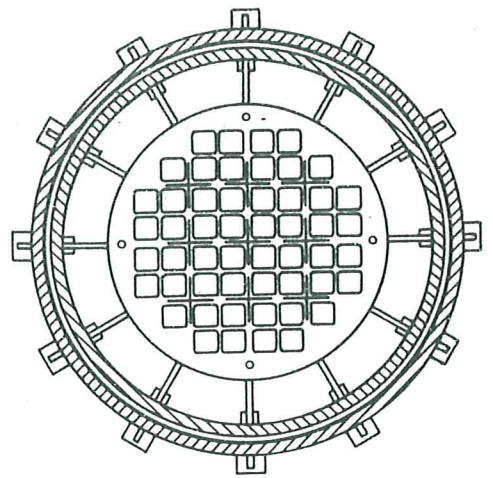
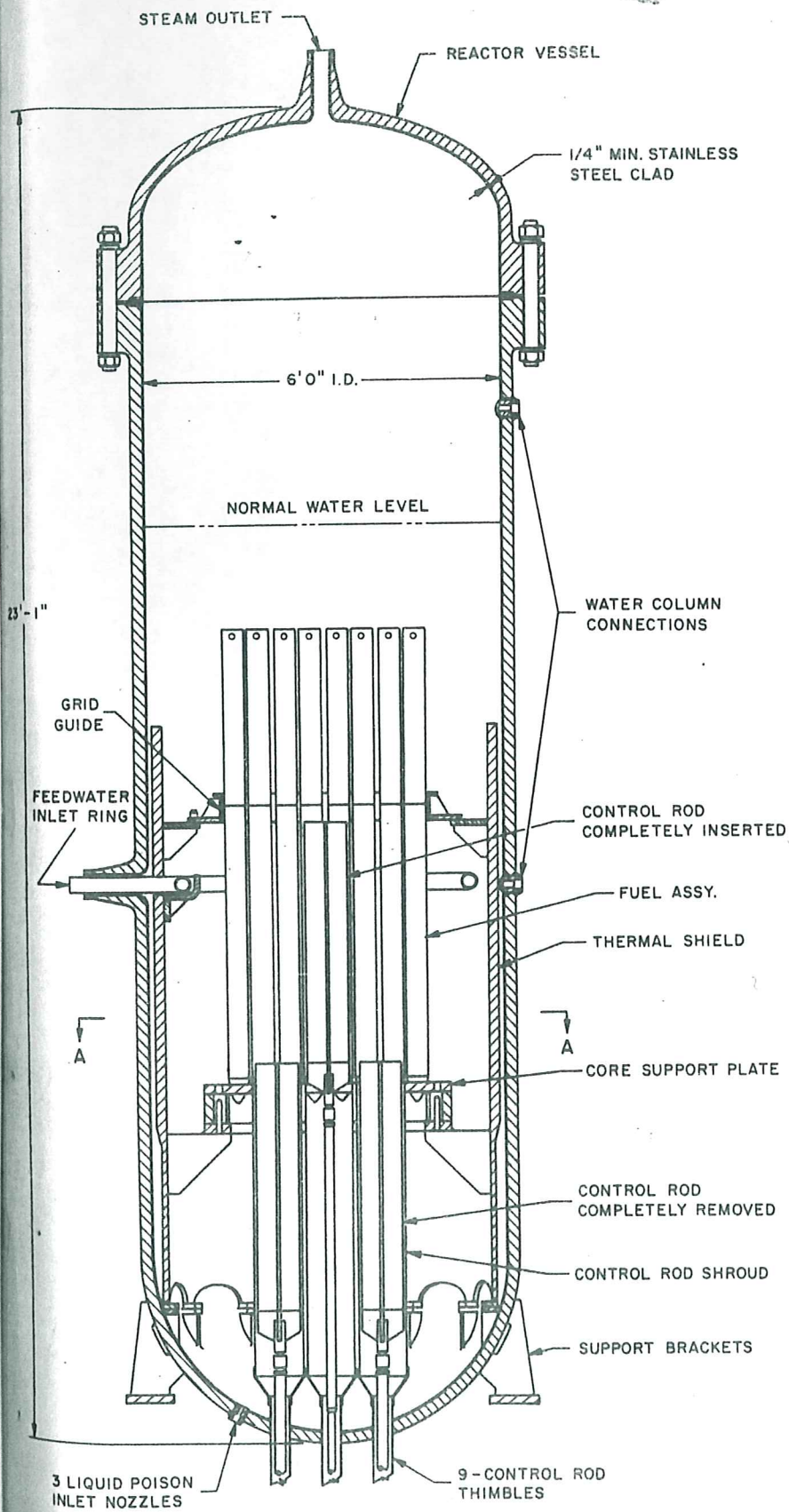
Reaktor

Reaktornum er komið fyrir í 7 m löngum sívalningi úr stáli, sem er 1,8 m í þvermál. Eins og sjá má (mynd 4) er reaktorfatíð fóðrað að innan næst reaktorkjarnanum með sérstökum skermi hitaskermi. Þessi hitaskermur sagnar í sig geislun frá kjarnanum og getur hitnað mjög mikið, en þar sem skermurinn þarf ekki að bera einhliða gufu-þrýsting gerir lítið til þó hann hitni verulega.

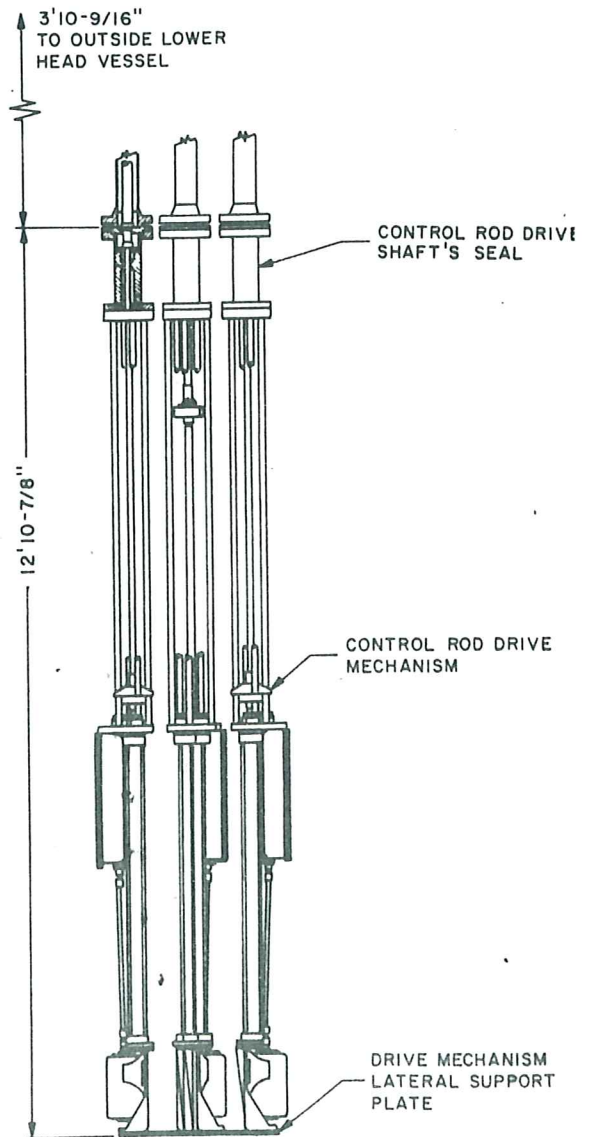


LEGEND
 P = PRESSURE, PSIA
 F = TEMPERATURE, °F
 # = FLOW, LB/HR
 hH = ENTHALPY, BTU/HR

GROSS HEAT RATE = $\frac{79,500 (1203.0 - 79.6)}{6,250} = 14,290 \text{ BTU/KW-HR}$



SECTION A-A



Vessel and Core Arrangement

G. E. -S- 202
Nov. 12, 1957

Kjarnanum er haldið uppi af plötu, sem er fest við hitaskerminn og er eldsneytishylkjum komið fyrir í tveimur netplötum til stuðnings. Inni á milli eldsneytishylkjanna ganga síðan stýristangir, en þeim er stjórnað utan frá með rafmóturum. Stýristangirnar innihalda venjulega kadmium eða bór. Þessi efni hafa þann eiginleika að soga auðveldlega í sig nevtrónur.

Fæðivatnið kemur inn nálægt miðjum kjarnanum og streymir þar niður, fer síðan upp gegnum eldsneytishylkin og tekur að sjóða, en gufan sem myndast er leidd út efst.

A reaktorfatinu að neðan eru inntaksstútar fyrir nevtrónueitur, en það er vökvi sem inniheldur bór og er notaður, þegar skyndilega þarf að slökkva í reaktornum og tilheyrir hann öryggiskerfinu. Annar búnaður, sem einnig tilheyrir öryggiskerfinu, er loftdrif á stýristengurnar og er það sá búnaður, sem að öllum jafnaði er notaður til þess að slökkva í reaktornum, en bórökuvinn er til vara.

Eldsneytisstangir

Eldsneytið, sem er úraníumdíoxýð auðgað af U235, er mótað sem stuttir sívalningar og komið fyrir í stöfum úr zirkoníumblöndu (mynd 5). Síðan er 36 eldsneytisstöfunum fest saman með netplötum að ofan og neðan og komið fyrir í stálhylki og myndar eldsneytisstöng, en 52 slíkar stangir eru aftur skorðaðar í netplötum og mynda kjarna reaktorsins.

Vatnsrásin í eldsneytisstöngunum er þannig, að vatn kemur inn að neðan og fer upp milli stafanna og kælir þá, en í þeim myndast mest af þeim varma sem reaktorinn gefur. Í aflreaktornum er varmaflutningur og kæling mikið vandamál vegna þess hve varmamyndunin á rúmeiningu er mikil í eldsneytinu.

Útbruni og aska

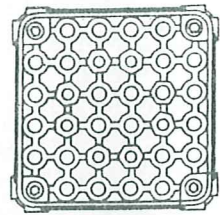
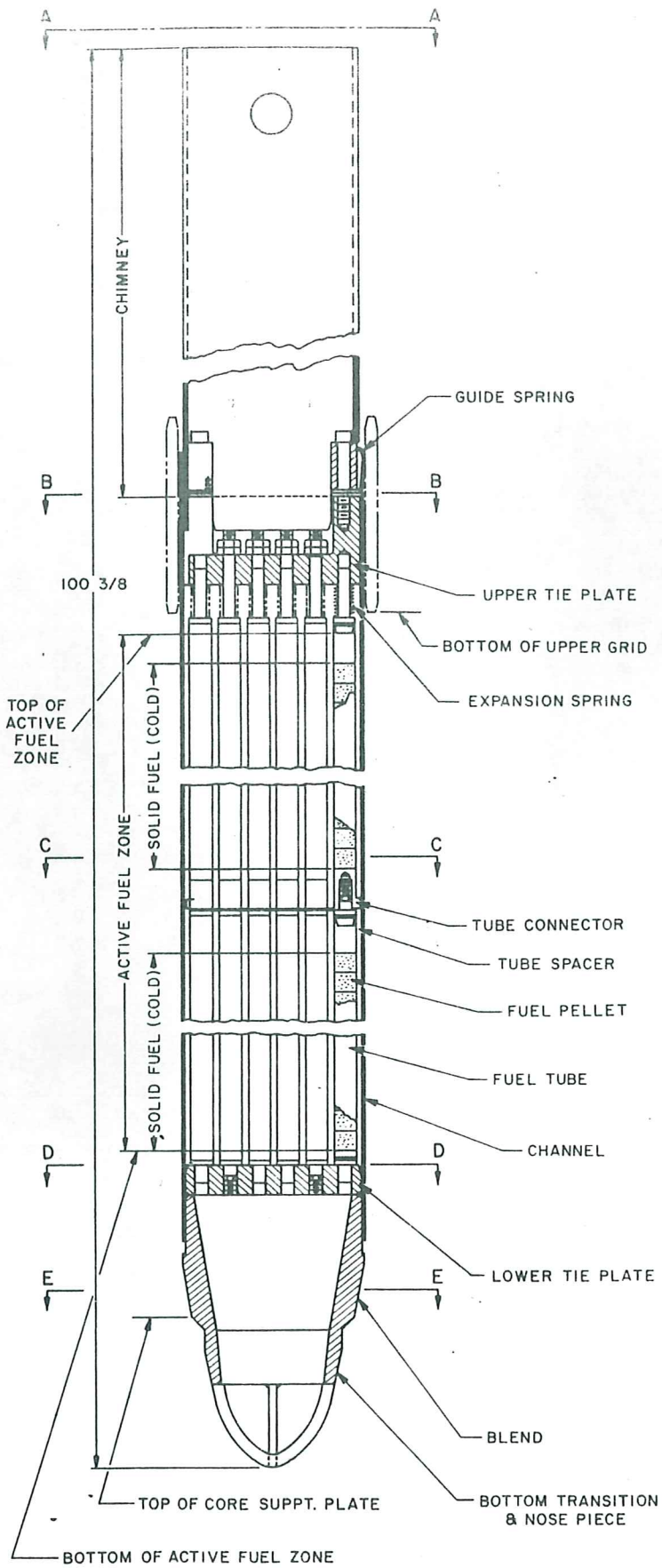
Úr auðguðu úraníum á að nást orka, sem nemur um 10.000 megawattdögum á tonn af úraníum og er algengt að miða útbrunann við það. Þessu samsvarar að reaktorinn gæti gefið fullt afl samfelld í 103 daga áður en skipta þyrfti um eldsneytishylki. Eldsneytishylkin eru orðin mjög geislavirk þegar þau eru búin að vera í reaktornum og verður að gæta fyllstu varúðar við meðferð þeirra og eru þau geymd fyrst í nokkra mánuði á meðan mesta geislaþagnioðvínar svo þau verði auðveldari í meðförum. Af verðmætum efnum sem myndast hafa í eldsneytinu má nefna plútóníum 239 en það verður til úr U238 og er einnig kjarnkleift efni eins og U235.

Starfslið

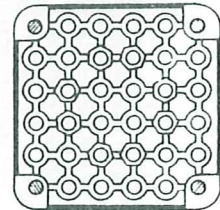
Að lokum mætti geta þess hve mikið starfslið áætlað er að þurfi til reksturs stöðvarinnar:

Rekstur á reaktor og tækjum	15 menn
Ymiskonar þjónusta og skrifstofustörf	8 "
Yfirmaður	1 "

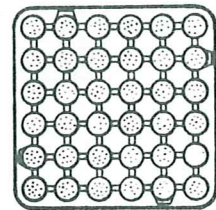
Samtals 24 menn



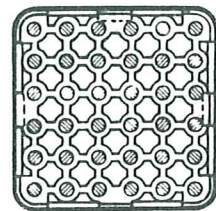
VIEW A-A



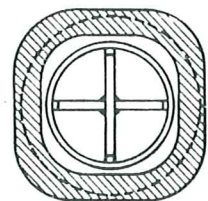
SECTION B-B



SECTION C-C



SECTION D-D



SECTION E-E

Fuel Assembly 36 ROD

G. E. -S- 201
Nov. 12, 1957

ATOMIC POWER EQUIPMENT DEPARTMENT
GENERAL ELECTRIC

Auk þess þarf öðru hvoru á auknu starfsliði að halda þ.e.:

Viðgerðir og lagfæringar	9 menn
Verkfræðipjónusta	4 "
	<hr/>

Samtals 13 menn

Eins og af lýsingu þessari má sjá er rafstöð sem þessi allmikið fyrirtæki á okkar litla íslenska mælikvarða og mundi kosta uppkomin um 170 millj. kr. og einingar-kostnaður yrði 27 þús. kr./kWe.

Verkun reaktorsins

Við venjulegan bruna þegar kolefni sameinast súrefni og myndar kolsýru losnar nokkur orka og er það mismunur staðarorku elektrónanna í atómunum (mólikúlunum) fyrir og eftir efnabreytinguna. Er nevtróna sameinast úraníum 235 kjarna og myndar tvo léttari kjarna og 2-3 nevtrónur, losnar orka, sem er mismunur orkustiga kjarnanna fyrir og eftir kjarnabreytinguna. Við bruna kolefnis losnar orka sem nemur 4,1 eV en við klofnun U235 nemur orkan 200 MeV eða um 50 millj. sinnum meiri orka ($1 \text{ eV} = 4,45 \cdot 10^{-26} \text{ kWh}$). Til þess að koma af stað klofnun á U235 þarf nevtrónu og við klofnunina losna að meðaltali 2,5 nevtrónur og af þeim þarf eina til þess að viðhalda breytingunni, ef fleiri valda klofningu eykst breytingin með sívaxandi hraða, ef færri þá deyr hún út. Hlutfallið milli fjölda nevtróna tveggja nevtrónukynslóða er nefnt k og $k=1$ þýðir að reaktorinn er hættinn (kritiskur).

Ef stýristengurnar eru færðar niður, verður k stærra og fjölgar nevtrónunum, þegar $k > 1$. Þegar æskilegu nevtrónuflæði er náð, er stöngunum aftur ýtt upp unz $k=1$ og þá helst nevtrónuflæðið stöðugt. Nevtrónuflæði er mælt í fjölda nevtróna sem fer gegnum cm^2 á sek og er í aflreaktorum af stærðargráðunni 10^{14} nevtrónur/ cm^2 sek.

Í venjulegu úraníum er ekki nema um 0,7% U235, hitt er U 238, og það er svo til eingöngu U235 sem klofnar, en til þess þarf hægjara nevtrónur. Nevtrónur þær sem losna við kjarnaklofningu eru mjög hraðfara og til þess að hægja á þeim er komið fyrir í reaktorinum sérstökum hægi (moderator) úr léttum atómum, sem soga lítið í sig nevtrónur en hægir á nevtrónunum í fjaðrandi árekstrum. Með þessu móti fá nevtrónunrar hraða sem að lokum samsvarar hita-hreyfingum hægisins og verða virkar.

Útan um reaktorkjarnann er sett efni sem verkar sem spegill á nevtrónurnar og sendir nokkurn hluta þeirra, sem hafa flætt út, aftur til reaktorkjarnans. Í reaktor þeim, sem hér um ræðir, eru bæði hægir og spegill úr léttu vatni.

Útan um reaktorinn eru settir skermar til þess að koma í veg fyrir óæskileg áhrif á umhverfið og er þar um tvenns konar skerma að ræða:

1. Hitaskermur. Hitaskerminum er komið fyrir innan sjálfs reaktorfatans eins og áður er getið.
2. Geisla skermur. Geislaskermurinn kemur í veg fyrir að skaðlegir geislar nái til þeirra er við reaktorinn vinna. Geislun reaktorsins er einkum þessi:

alfa-geislar
 beta-geislar
 gamma-geislar
 hraðfara nevtrónur
 hægfara nevtrónur
 nevtrínur

Alfa- og beta-geislar og hægfara nevtrónur stöðvast mjög fljótt í skermum þeim, sem notaðir eru til þess að fyrirbyggja að gamma-geislar og hraðfara nevtrónur komist út í umhverfið, en til þess er notuð þykk steinsteypa. Nevtrínurnar hafa lítil áhrif á efnið og er því illgerlegt að skerma þær af og auk þess eru þær óskaðlegar. Í litlum reaktor eru líkurnar fyrir því, að nevtrónur glatist áður en þær geta hitt á U235 og valdið klofningu svo miklar bæði vegna þess að U238, hægirinn og önnur efni í reaktornum sjúga þær auðveldlega í sig og vegna hlutfallslega stórs yfirborðs reaktorkjarnans miðað við rúmmál. Til þess að auka líkurnar fyrir því að nevtróna hittí á U235 kjarna er nauðsynlegt að auka magnið af U 235 miðað við U238, er þetta kallað að auðga eldsneytið. Ekki er unnt að láta allt eldsneytið brenna vegna hættu á að eldsneytisstafirnir bresti og geislavirk efni komist út í vatnið og einnig vegna þess að askan, þ.e. efnin sem myndast við klofnunina verka sum hver sem nevtrónueitur og þegar mikið hefur safnast fyrir af þeim hætti reaktorinn að geta orðið hætinn. Verst af þessum efnum er lofttegundin xenon.