



ENERJİ MERKEZİ

Zoom Konferans
**TORYUM YEŞİL NÜKLEER ENERJİ
KAYNAĞI**

5-10-2021

Saat:10.30-16.00

Geleneksel Nükleer Reaktörler

Canip SEVİNÇ

Mak.-End.Yük.Müh.-Ekonomist

ETKB Toryum Strateji Koordinatörü(Emekli)

2012

**The History
of Nuclear
Energy**

*U.S. Department of
Energy*

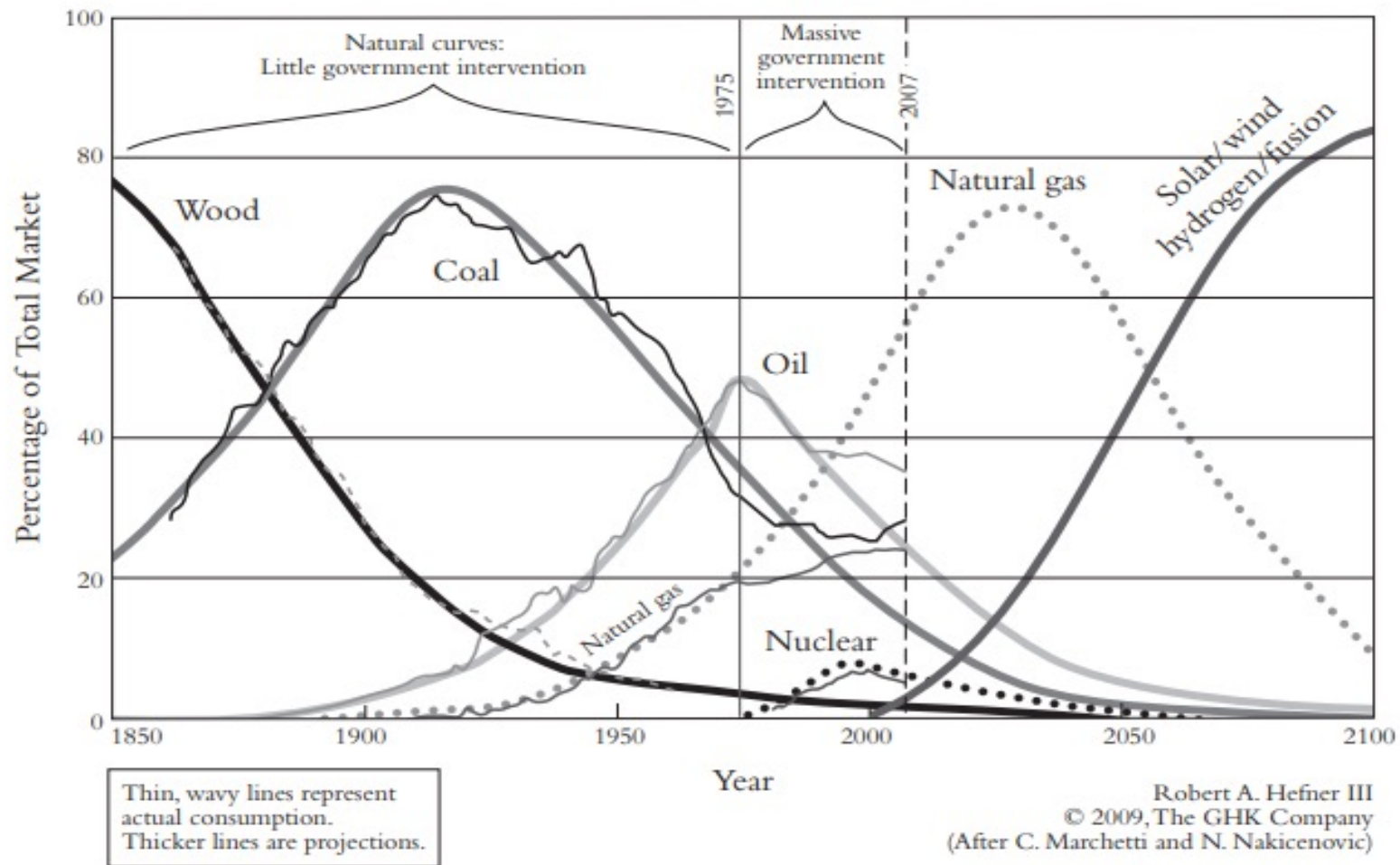
Geleneksel NR

- First reactor built operational in 1942 by Enrico Fermi¹
- First commercial reactor in Obininsk, **USSR**
- US Patent held by **Enrico Fermi** and **Leo Szilard** ¹
- Patent number 2,708,656 in 1955¹
- **^{235}U** and **^{239}Pu** fuels

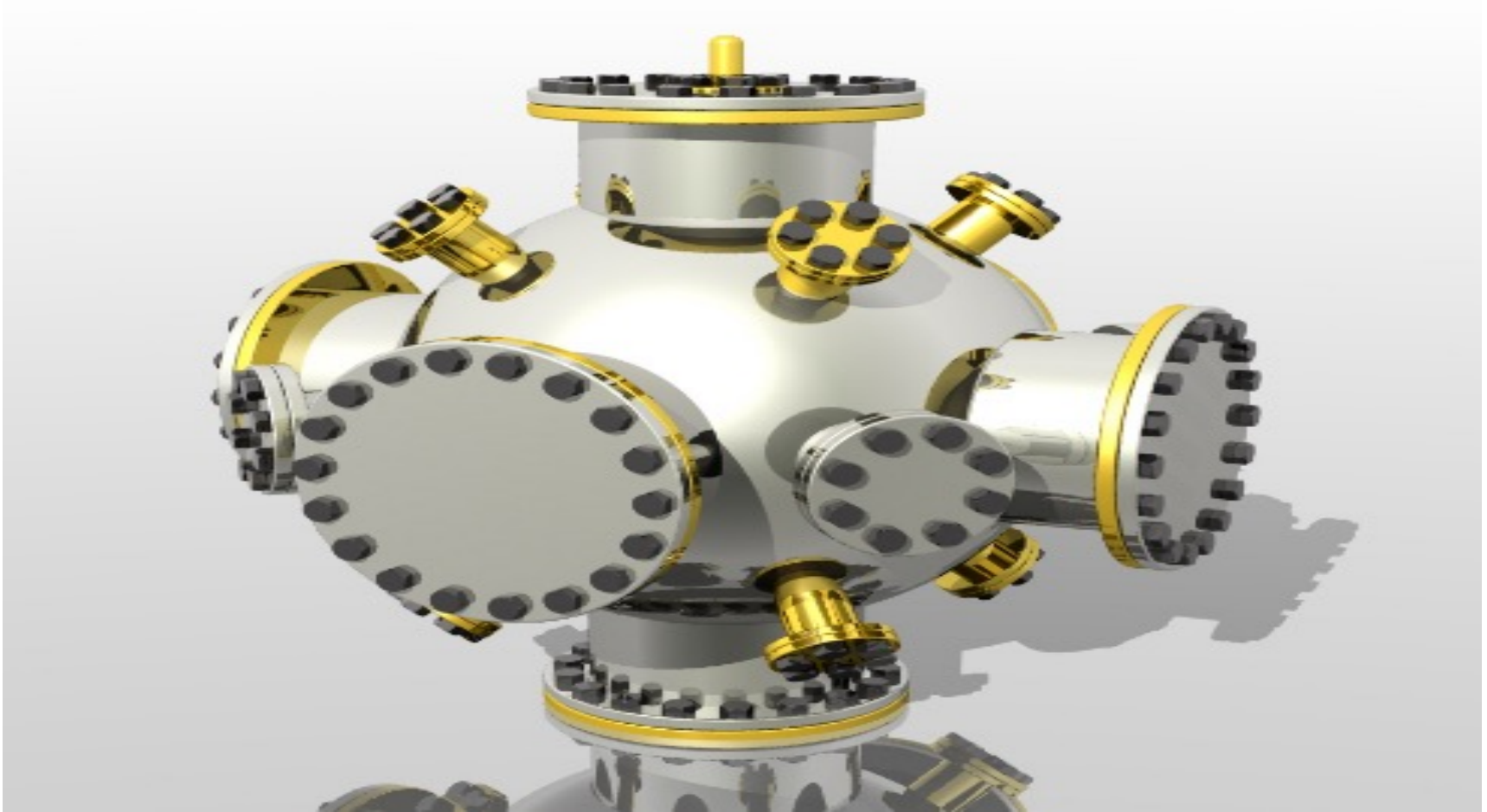


Enrico Fermi

Robert Hefner "The Grand Energy Transition" Dünya Birincil Enerji İkamesi



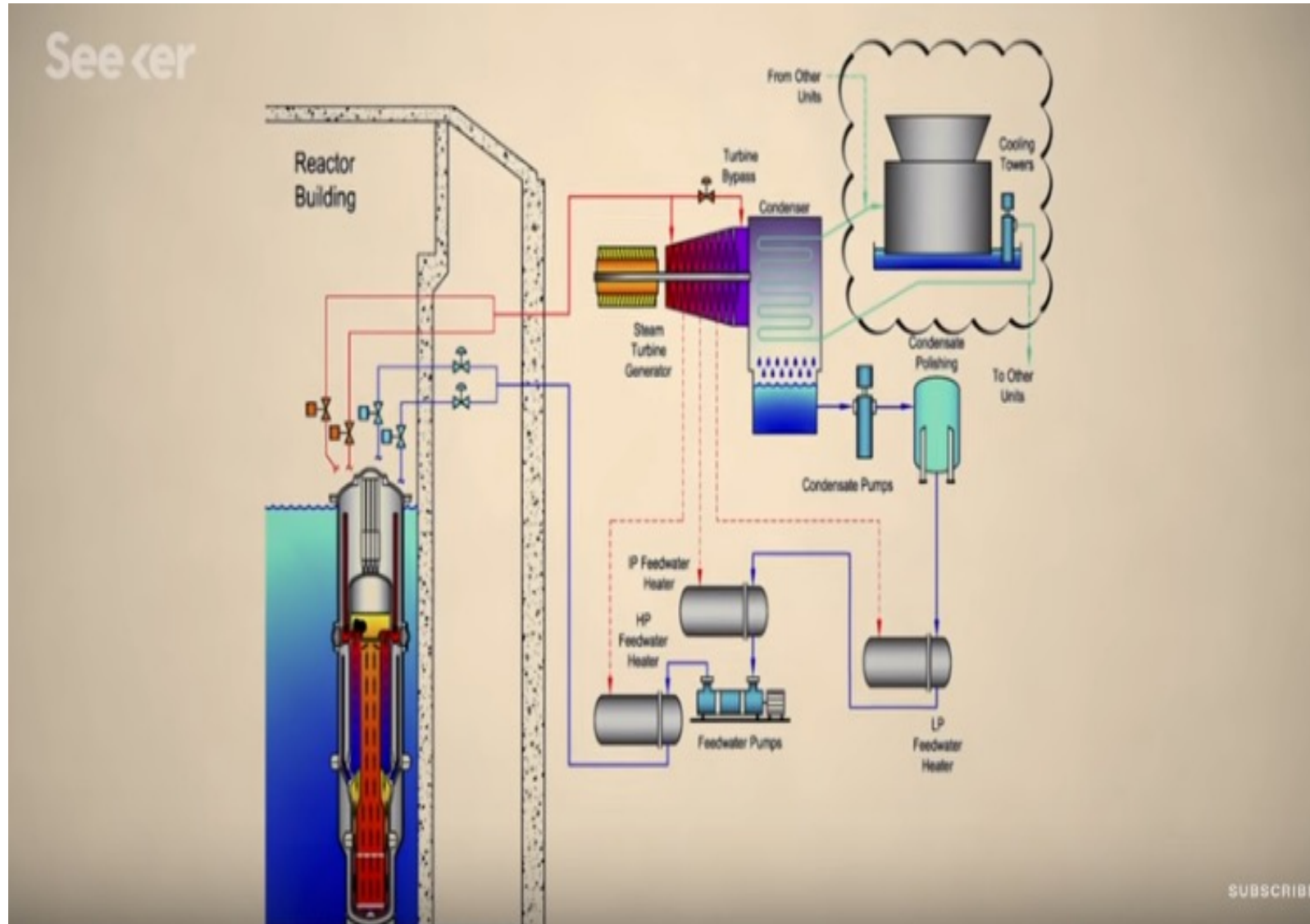
Küçük Bir Denizaltı için dizayn edilmiş Compact Nükleer Reaktör



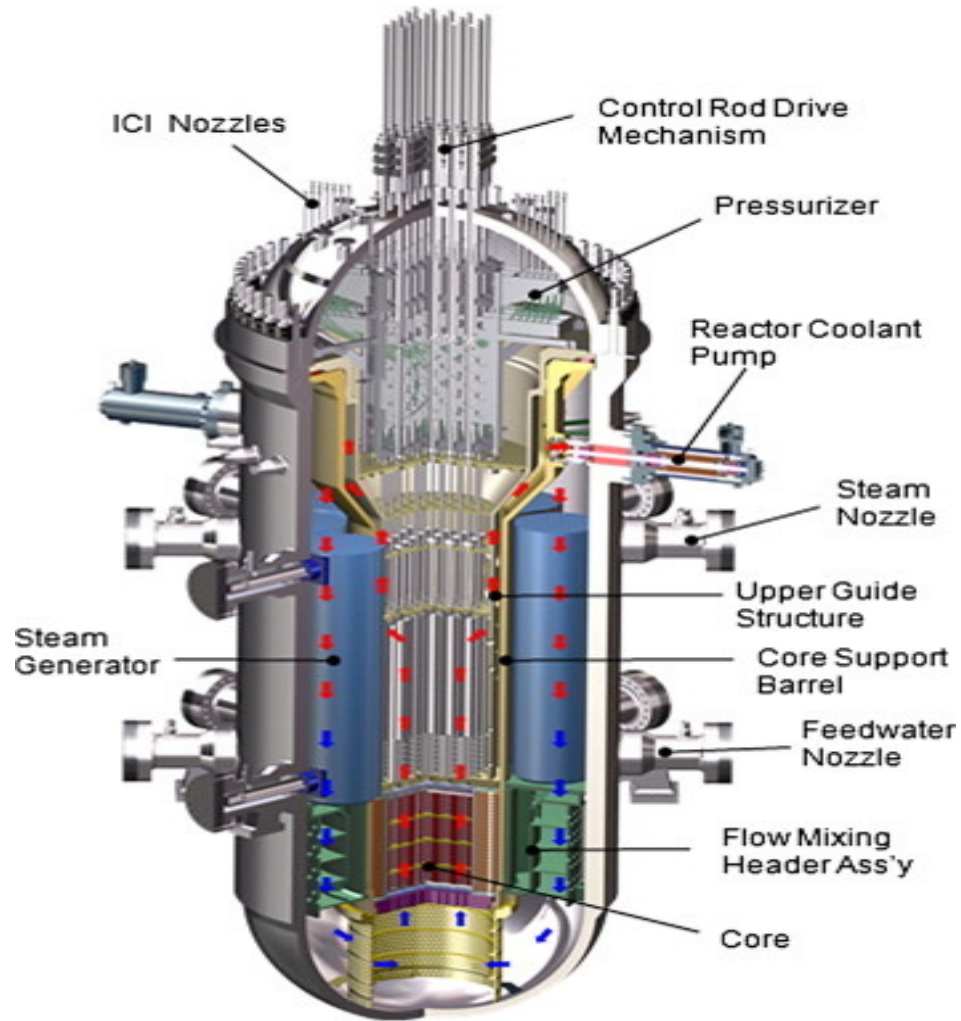
Tařınabilir Bir Nükleer Reaktör
(23 m. Boy-4,5 m. Geniřlik “NuScale Tasarımı”
40 MW Güç Üretiyor



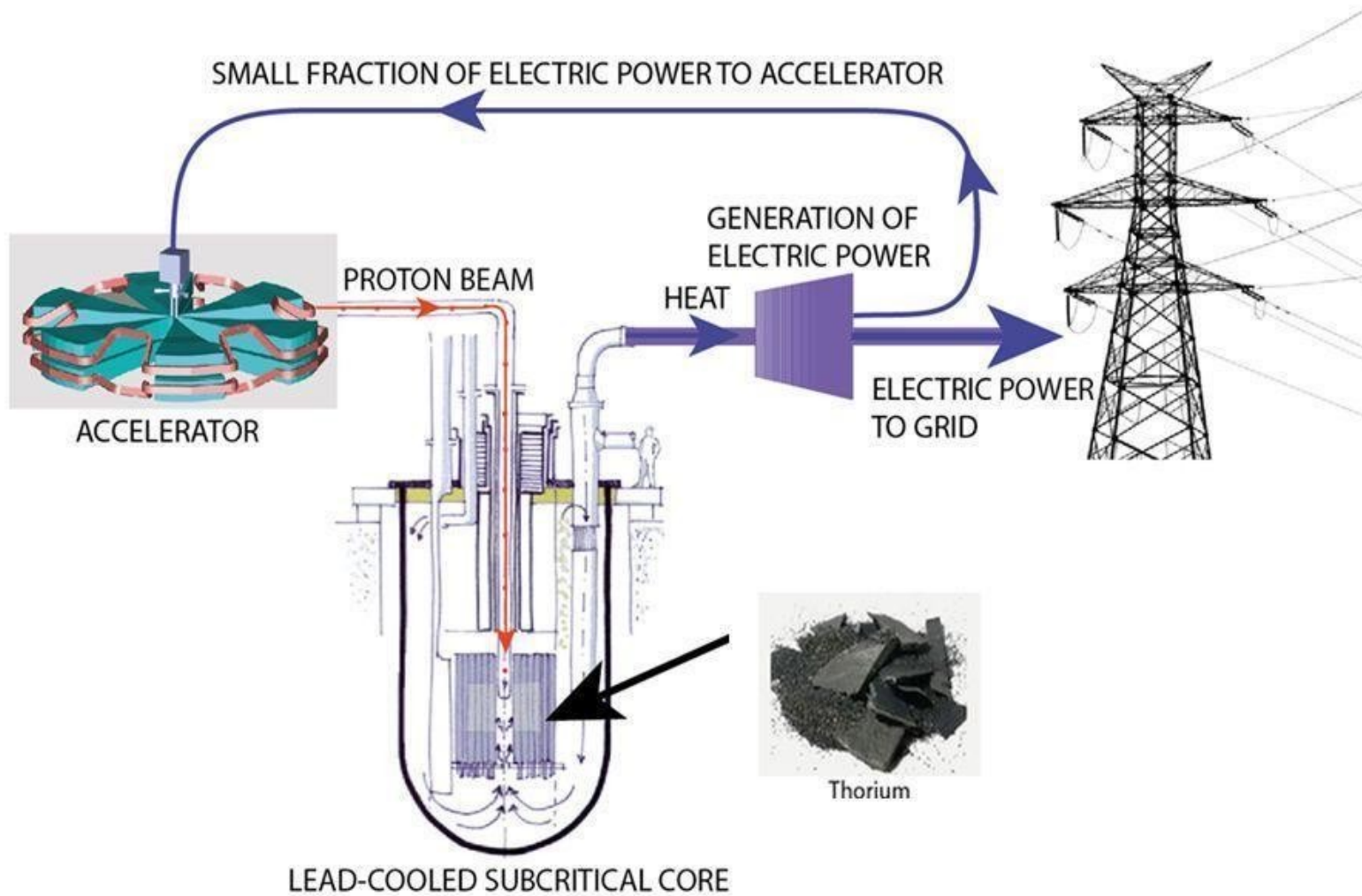
NuScale SMR Yerleşimi



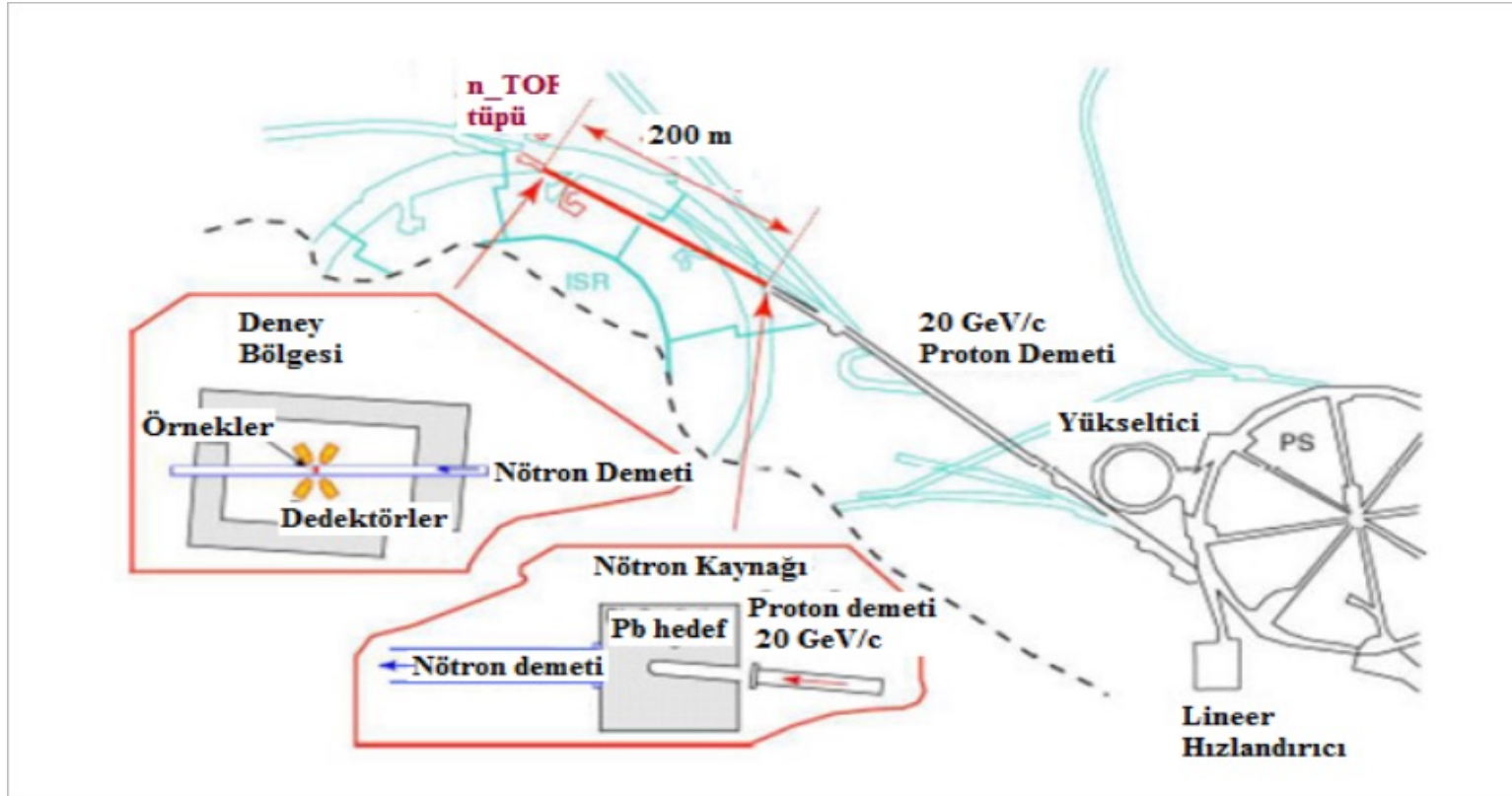
SMR-AP 1000 PNG Westinghouse Tasarımı 45MW



GIF-IV Çalışma Kapsamında da yer alan AVRUPA'nın ELFR veya ELSY(European Lead Cooled System) ADS Hızlandırıcı Sürümlü Sistemli Reaktörü



**CERN n-TOF(The neutron Time of Flight Facility) Deneyi
(B.Ü.'den rahmetli Prof.Dr.Engin ARIK ADS sistemi
üzerinde 2001 sonrasında bu deneyde çalıştı.)**



İlk gerçek ADS deneyi Carlo RUBIA'nın İtalya'da yapılan TRADE Deneyidir.
Deney 1 MW Gücünde bir TRIGA Reaktöründe ENEA araştırma merkezinde yapıldı.

2012 yılında ABD-DOE Sekreterine Son Gelişme olarak verilen Brifingten? Sonuç Raporu: «ADS Sistemleri Amerika'nın geleceğidir.»

Recent Developments

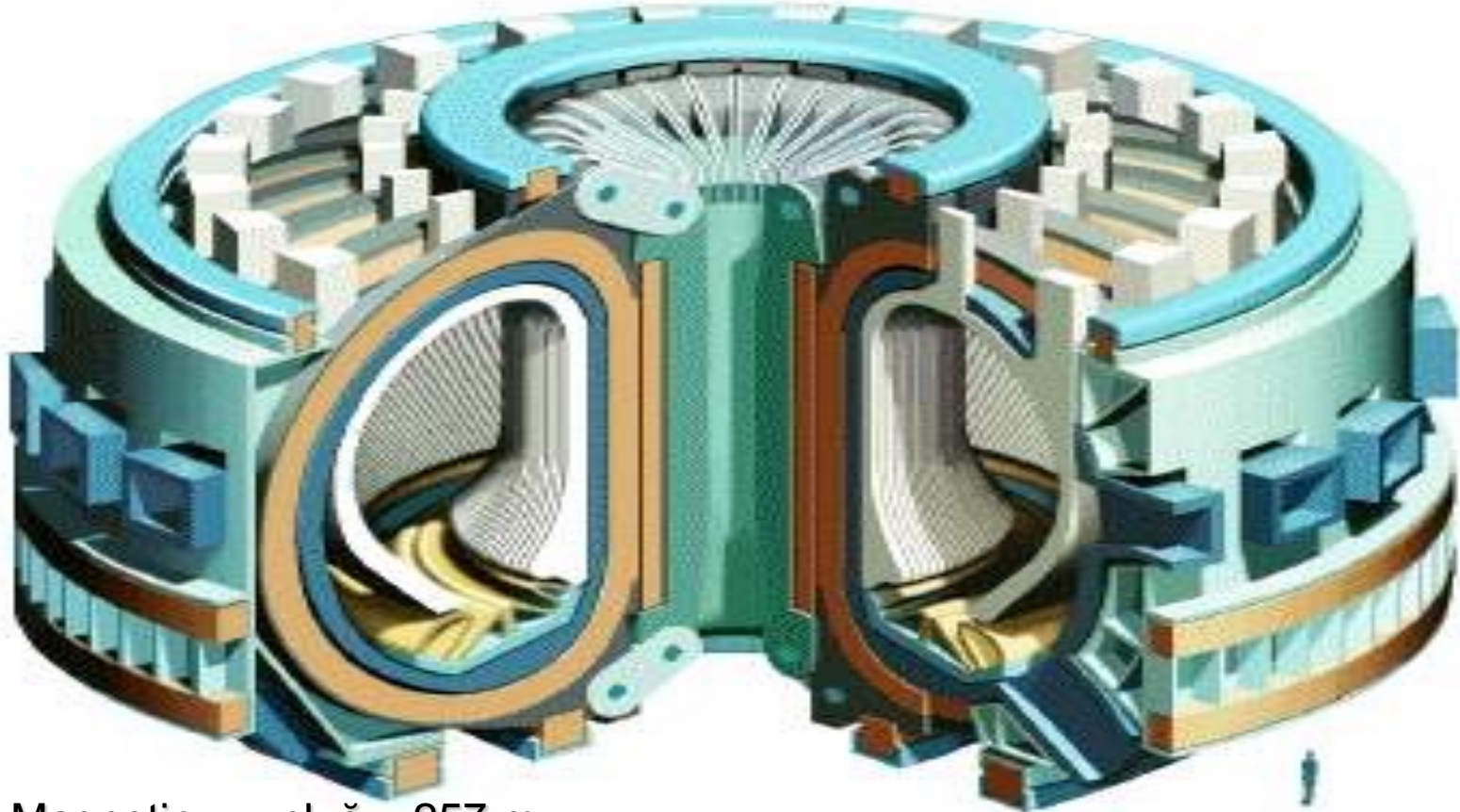
- DOE Symposium and Workshop on Accelerators for America's Future
- DOE/Office of Science recently commissioned an assessment of "*Accelerator and Target Technology for Accelerator Driven Transmutation and Energy Production*"
 - http://www.science.doe.gov/hep/files/pdfs/AD_SWhitePaperFinal.pdf
- Summary: Substantial technology developments of the last 10-15 years make an ADS demonstration facility feasible, and go a long way toward demonstrating the technology required for an industrial-scale system.

s. •
Hen
ders
on

Briefing to Secretary Chu on ADS

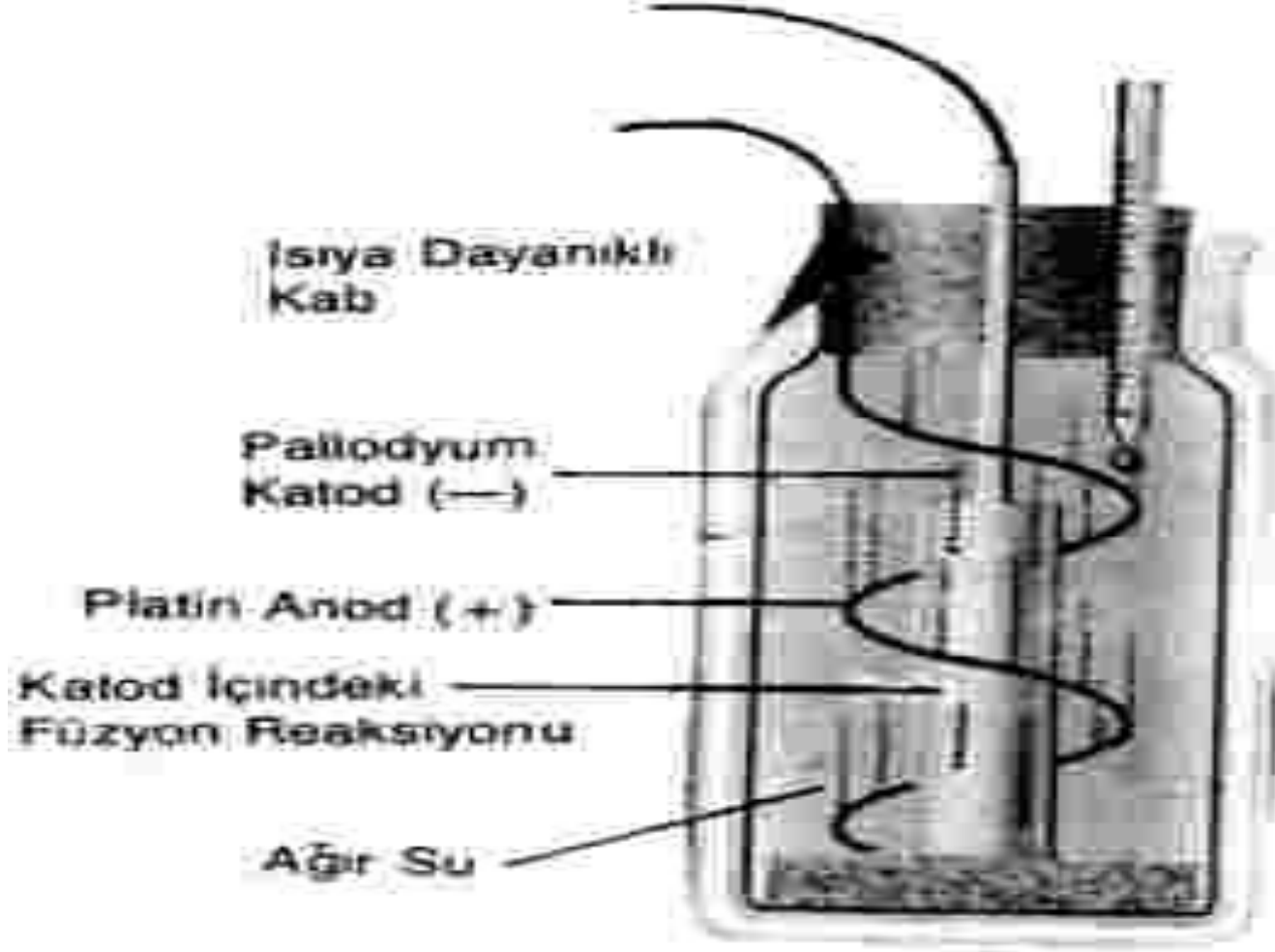


İTER Reaktörü
Kurulu gücü:500 MW ;Ömür:20 Yıl
(Fransa'nın güneyindeki ,Aix en Provence kenti
yakınlarındaki Cadarache kasabasında kuruluyor.)



Magnetin uzunluğu :257 m.

ODTÜ'den Rahmetli(ÖT:29 Ekim 2004)
Prof.Dr.Ordol Demokan'ın çizimi ile füzyon
reaktörü

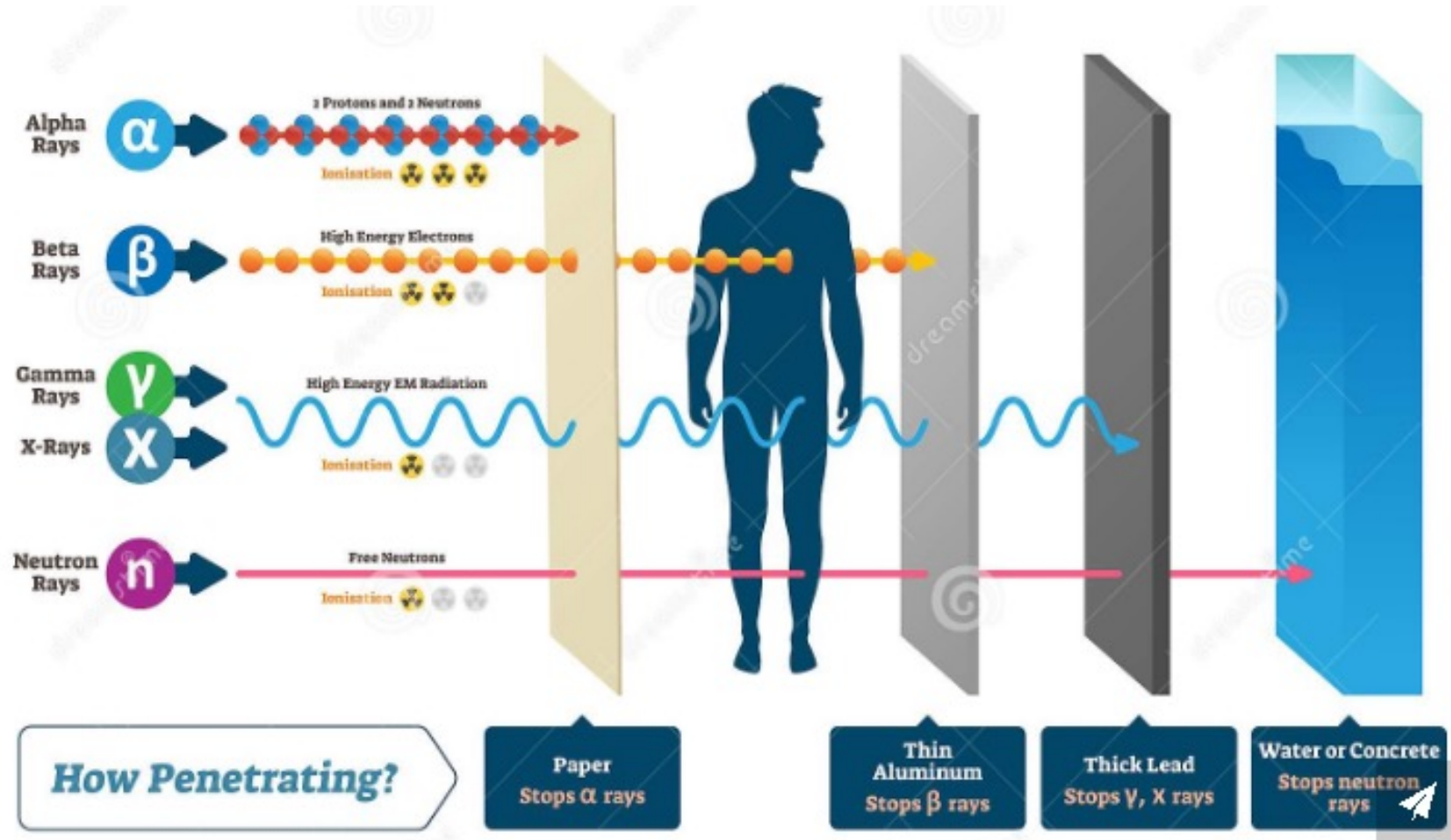


Giriş

- Türkiye için nükleer reaktörler enerji arz güvenliği için zorunlu bir seçenek olarak değerlendirilirken, **nükleer yakıt çevriminin fosil yakıt çevrimlerinden birkaç başlıkta önemli farklı olması** sebebiyle nükleer yakıt çevriminin daha bütünleşik olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Nükleer reaktör teknolojilerinin başlangıçta askeri amaçlı geliştirilmesi sebebiyle ülkelerin nükleer enerji politikaları ekonomik, çevresel ve sosyal faktörlerin dışında uluslar arası siyasi faktörlerde göz önüne alınarak geliştirilmesi gereken diplomasi ağırlıklı bir alan olarakta görünmektedir.

Bu birkaç başlıktan en önemlileri

1-Radyasyon



2-Nükleer Kazalar

- İlk kuruluşundan itibaren dünyada 70 seneden beri çalışan 650 civarında nükleer reaktörün içinde, üç büyük 3 orta büyüklükte 6 adet kazadan bahsedebiliriz.
- 1- Tree -Mile Island, 2-Çernobil ve 3-Fukuşima'dır.
- Ayrıca bu büyük kazaların dışında dünyada nükleer santrale sahip 31 adet ülkede, değişik ülke ve değişik sayılarda olmak üzere 150'ye yakın da küçük kazalar meydana gelmiştir. Yüzlerce insanda ölmüştür.

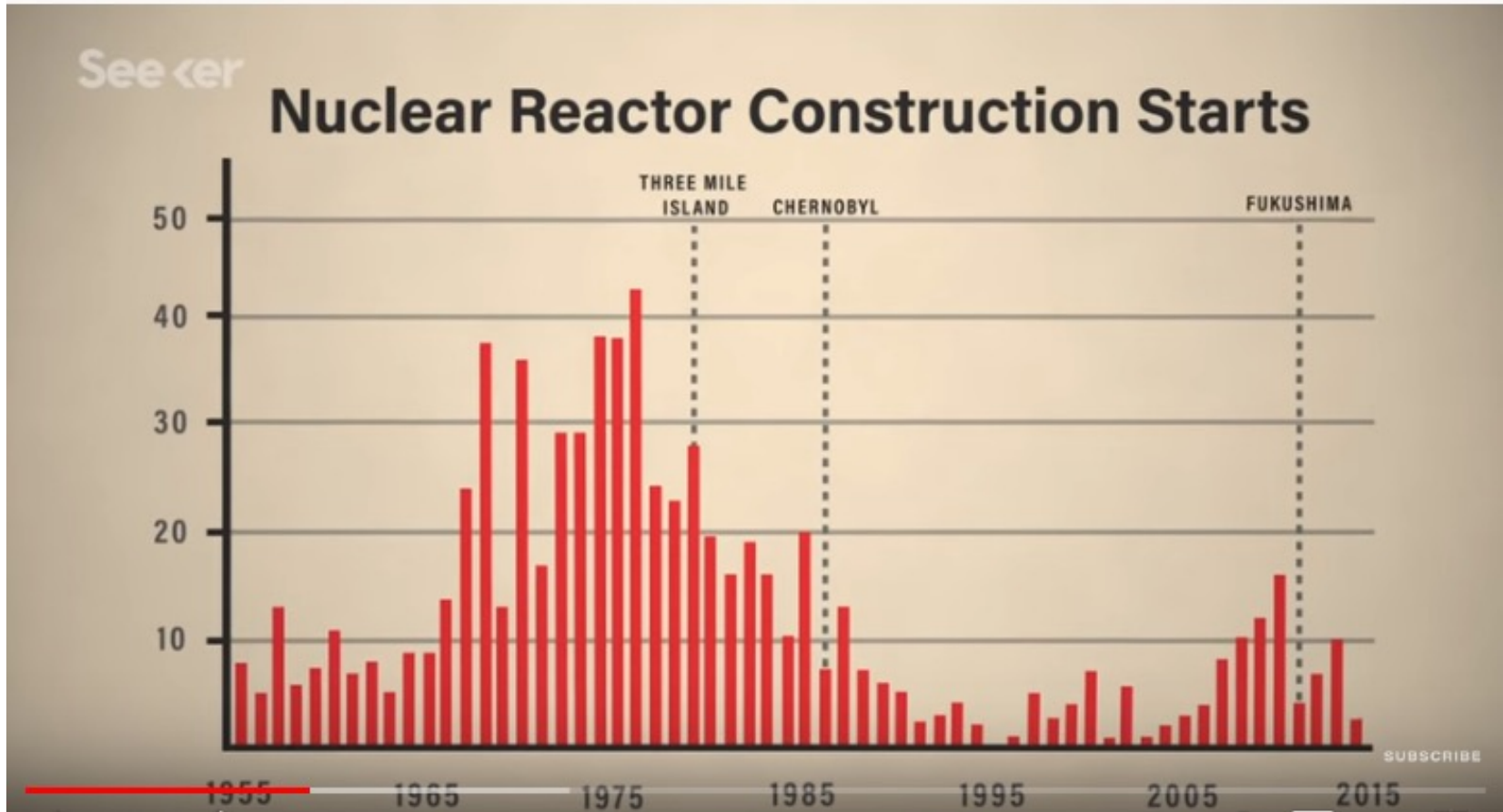
Diğer taraftan Hindistan'da Bopal'de (doğal gaz santralında bir günde kaza sonucu 30.000 kişi ölmüştür.)
- Nükleer'de çok iyi yetişmiş, tecrübeli teknik elemanlar ve mühendisler kullanılmalıdır.

WNA (World Nuclear Agency)'ye göre Geleneksel Reaktörlü NES'lerinin

- Dünyada kurulu nükleer enerji santrallerinin ortalama yaşı 30,7 yıl,
- Dünyada devredeki 413 adet NES'nin 189 adedinin 31 - 40 yaş arasında;
- 81 adedinin de 40 yaşın üzerinde olduğu ifade edilerek,
- Bu durumda toplamda çalışır durumda 270 adet santral ekonomik ömrünün sınırlarındadır ifadesi kullanılmıştır.

**Geleneksel Nükleer Santral konusunda
Yıllar,Olaylar,incelendiğinde sektörün bir güvenlik tehdidi
yarattığı ve Sektöre damgasını vuran durgunluğun esas sebebi
budur.**

**Bir başka sebep ise gelişimi devam eden 4.Nesil
Reaktörlerin,Güvenlik ve ekonomiklik, kriterleridir.**

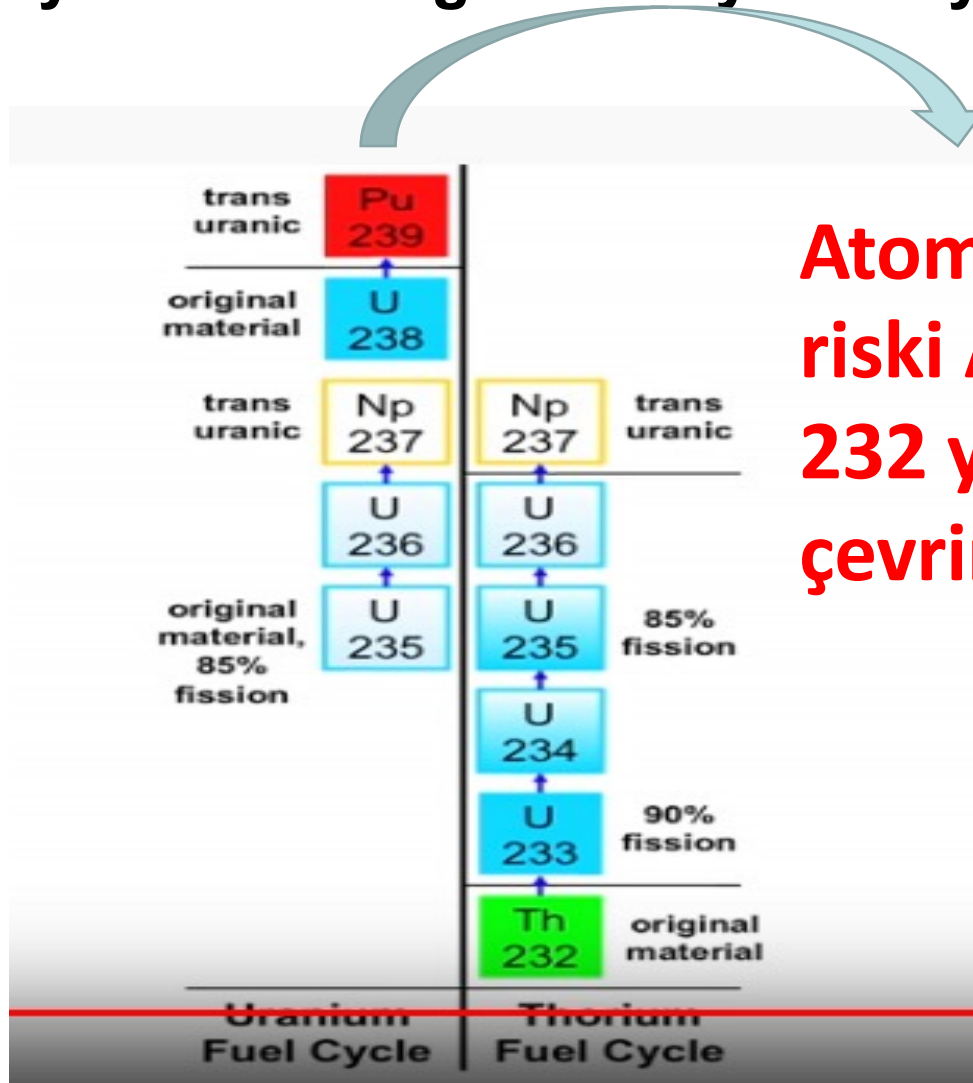


3-II. Atom Bombası (Fat Man)



**CERN Direktörü Prof.Dr.jean Pierre REVOL;
“Uranyum ve Toryumun Yakıt Saykılı”**

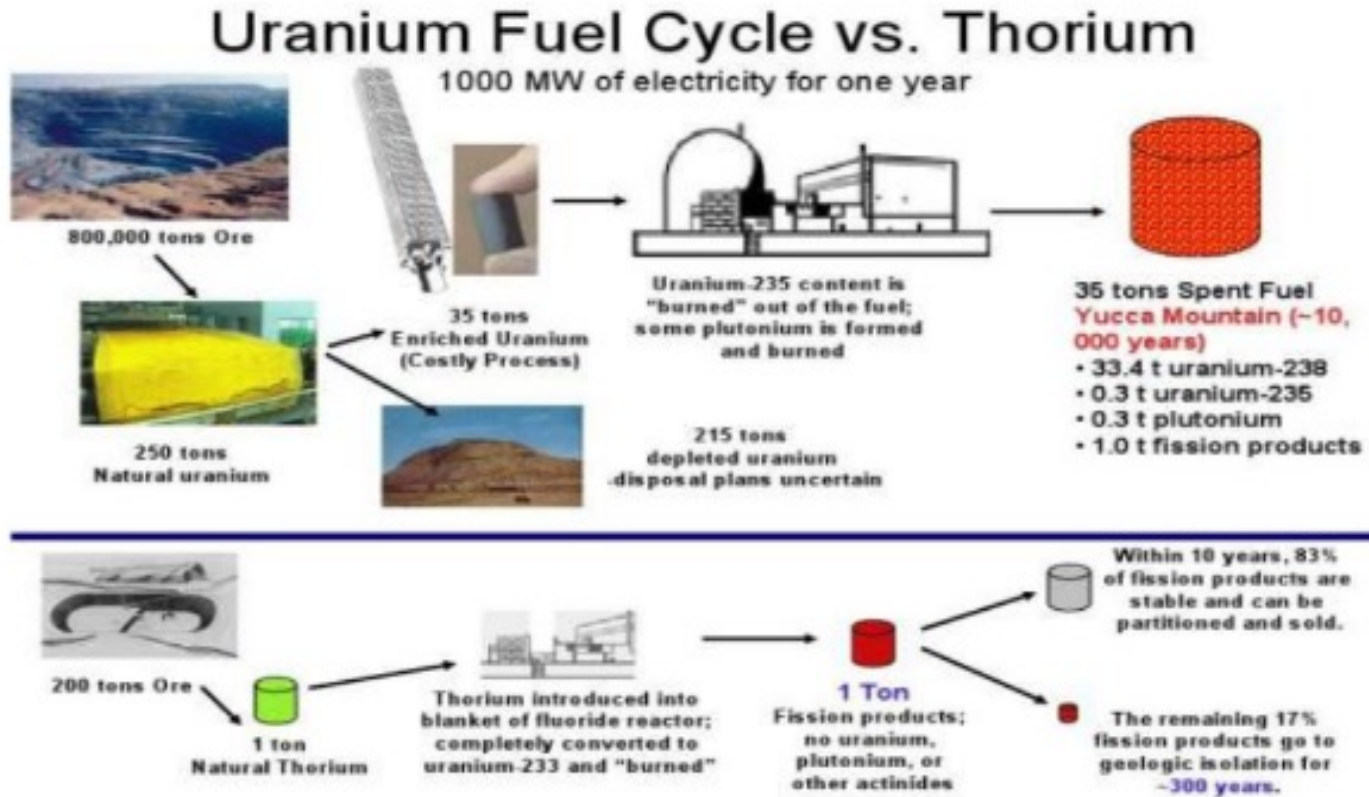
Toryum’un Pu’a giden bir yakıt saykılı yok.



**Atom Bombası
riski ADS’de Th-
232 yakıt
çevriminde yok**

4-Radyoaktif Atıkların miktarı ve Ömrü

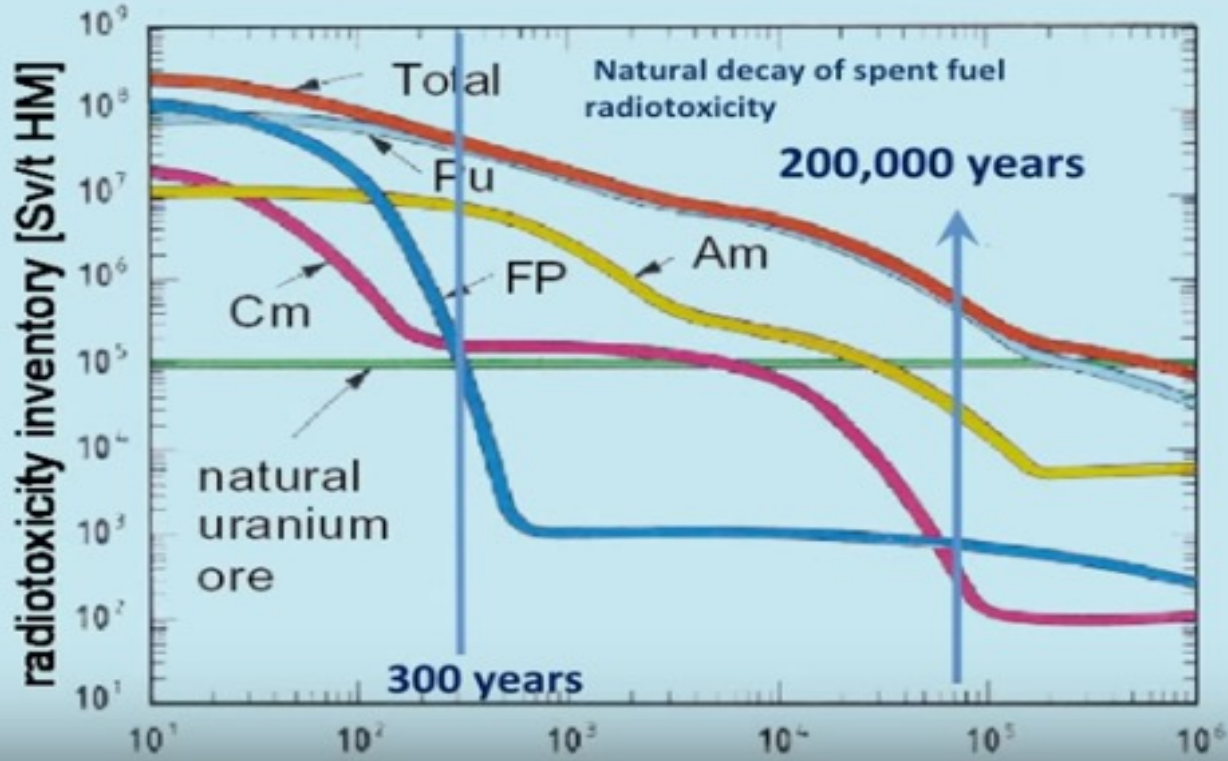
TAEK raporun'dan ;Uranyum –Thorium Enerji Karşılaştırılması



Şekil 2 Uranium ve thorium yakıt çevrimlerinin karşılaştırılması [7]

Dr.Revol ayrıca;ADS'de Kapalı yakıt çevrimi ile çalıştığından bu sistemlerde atık yükü azalır ve yaklaşık 200 000 yıl olan atık ömrü 300 yıla iner

Adopting closed fuel cycle also reduces nuclear waste burden



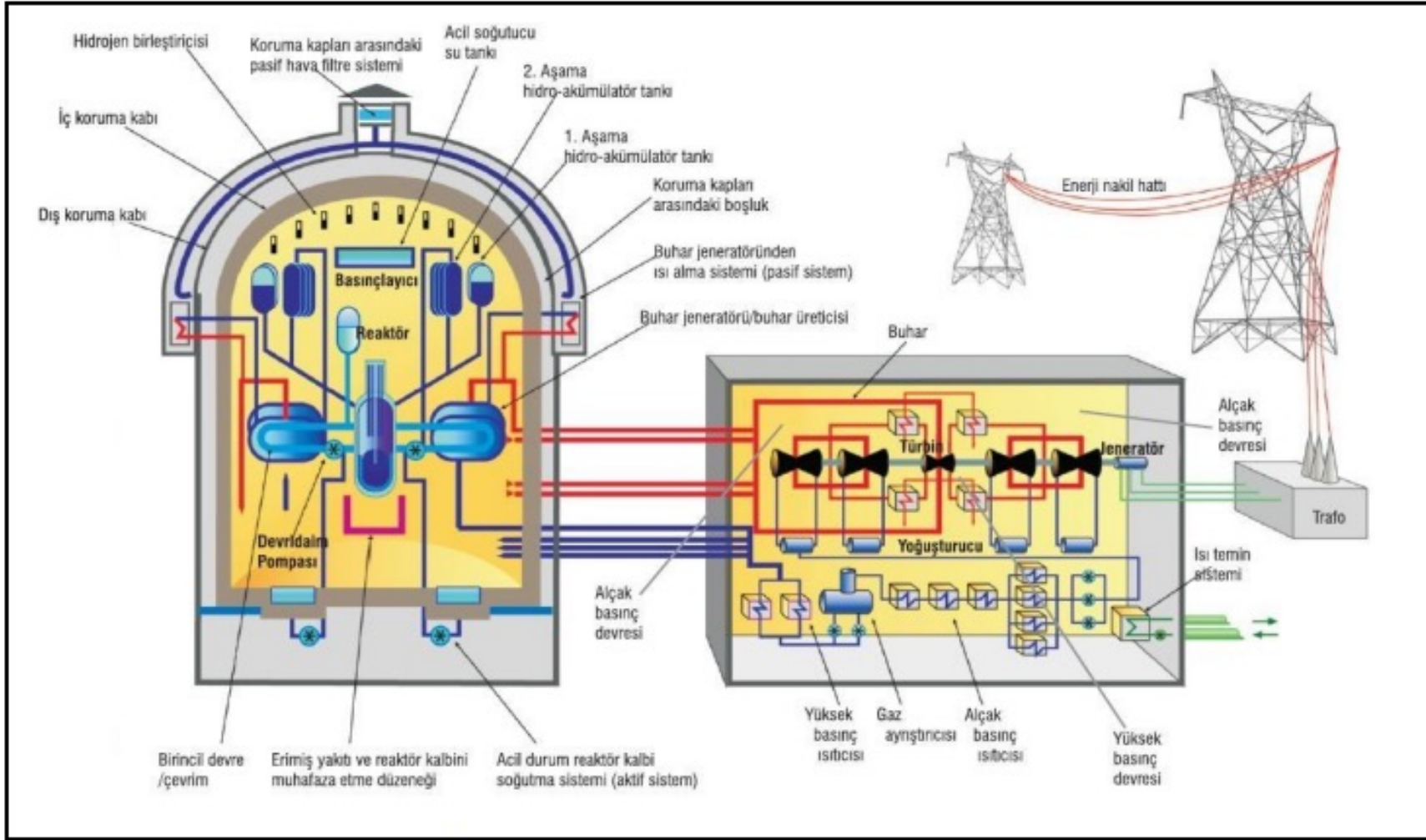
Time (YE)

5-Maliyet,Fiyat,Rekabet

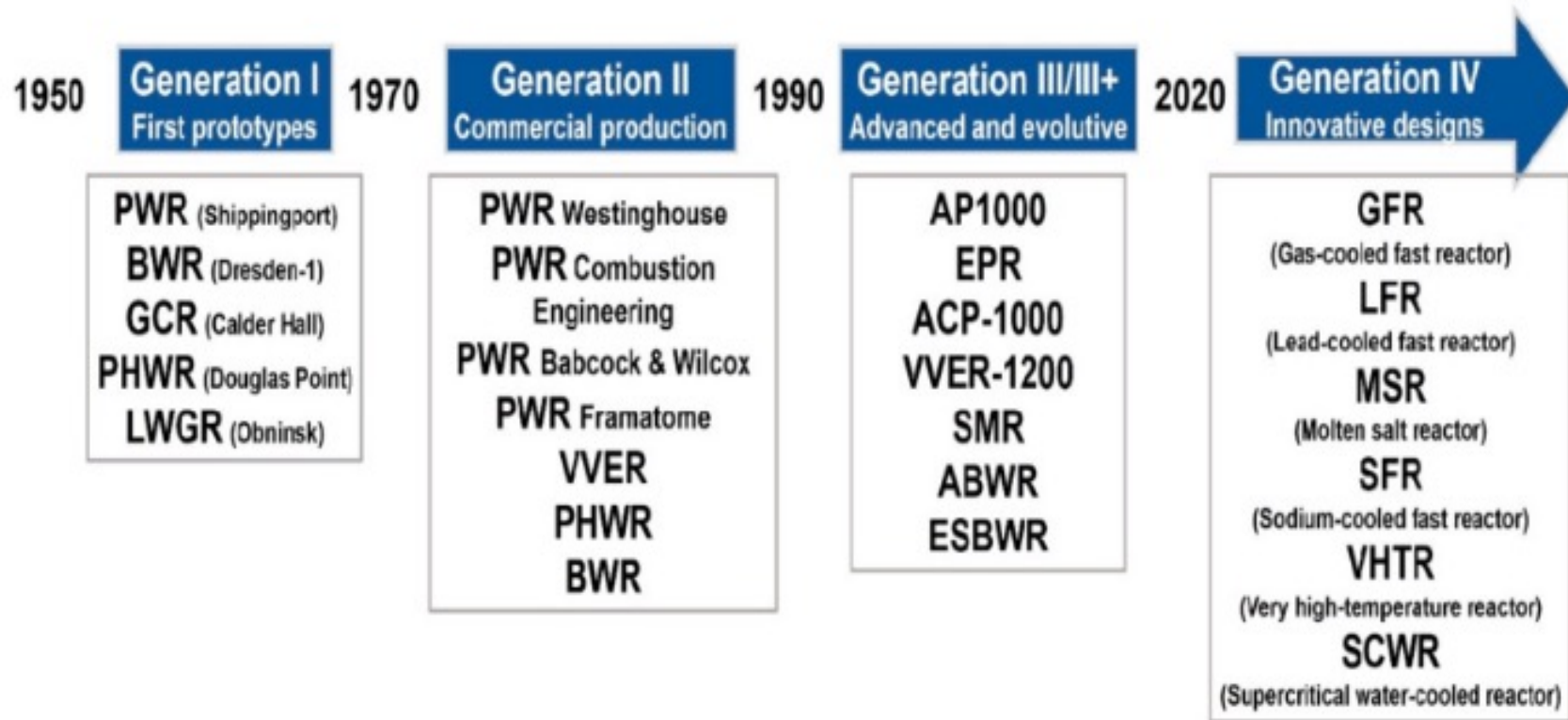
- Konvansiyonel bir 3+ Nesil Nükleer Santralin ,
1000 MW kurulu gücünün yatırım maliyeti Akkuyu NES fiili örnek olarak ele alındığında (Sözleşmeye Göre) takriben;
5,000 Milyar \$ olarak söz konusu iken(6.Ekim.2010)
GİF-IV'a göre 2016'da:
1000 MW 4.Nesil MSTR'in(Molton Solt Thorium Reaktor) maliyetini;
1,000 Milyar \$ mertebesinde açıklanmıştır.
Bu 5 kat daha yüksek maliyet anlamına geliyor.
Diğer taraftan bu fiyatlar NES'ni özel kesimin ilgisinede açıyor anlamı taşımaktadır.

Nükleer santralin çalışma sistemi ve elektrik elde edilişi

VVER-1200 Akkuyu -NES



70 Yıllık Genç Bir Enerji Üretim Teknolojisi “Geleneksel Nükleer Reaktörler”



Generations of nuclear reactors throughout the past seventy years.

3. Nesilde 3+ Yarı İleri Nükleer Reaktör Dizaynları

Advanced Nuclear Power Plant Designs

- **ABWR** (*Boiling Water Reactor*)
- **ESBWR** (*Boiling Water Reactor*)
- **AP-1000** (*Pressurized water Reactor*)
- **ACR-700** (*Light Water Cooled Reactor*)
- **IRIS** (*Next Generation PWR*)
- **PBMR** (*Pebble Bed Modular Reactor*)
- **GT-MHR** (*Gas Turbine Modular Helium Reactor*)

Geleneksel Nükleer Reaktörler

1- Kullanım Amacına göre	2- Nötron Enerjisine göre Reaktörler	3- Soğutucusuna göre Reaktörler	4- Yavaşlatıcısına göre	5- Kullanılan Yakıtta göre
A-Güç Reaktörleri	A-Hızlı Reaktörler	A-Su soğutmalı	A-Su	A-Doğal Yakıt Kullanan Reaktörler
B-Araştırma Reaktörleri	B-Termal Reaktörler	1-Hafif Sulu	B-Ağır su	B- Zenginleştiril miş yakıt kullanan
C-Üretim Reaktörleri		2-Ağır Sulu	C-Grafit	
		B-Gaz Soğutmalı	D-Yavaşlatıcı Gerekmeyenler	
		C-Sıvı Metal Soğutmalı		

Önemli Hatırlatma

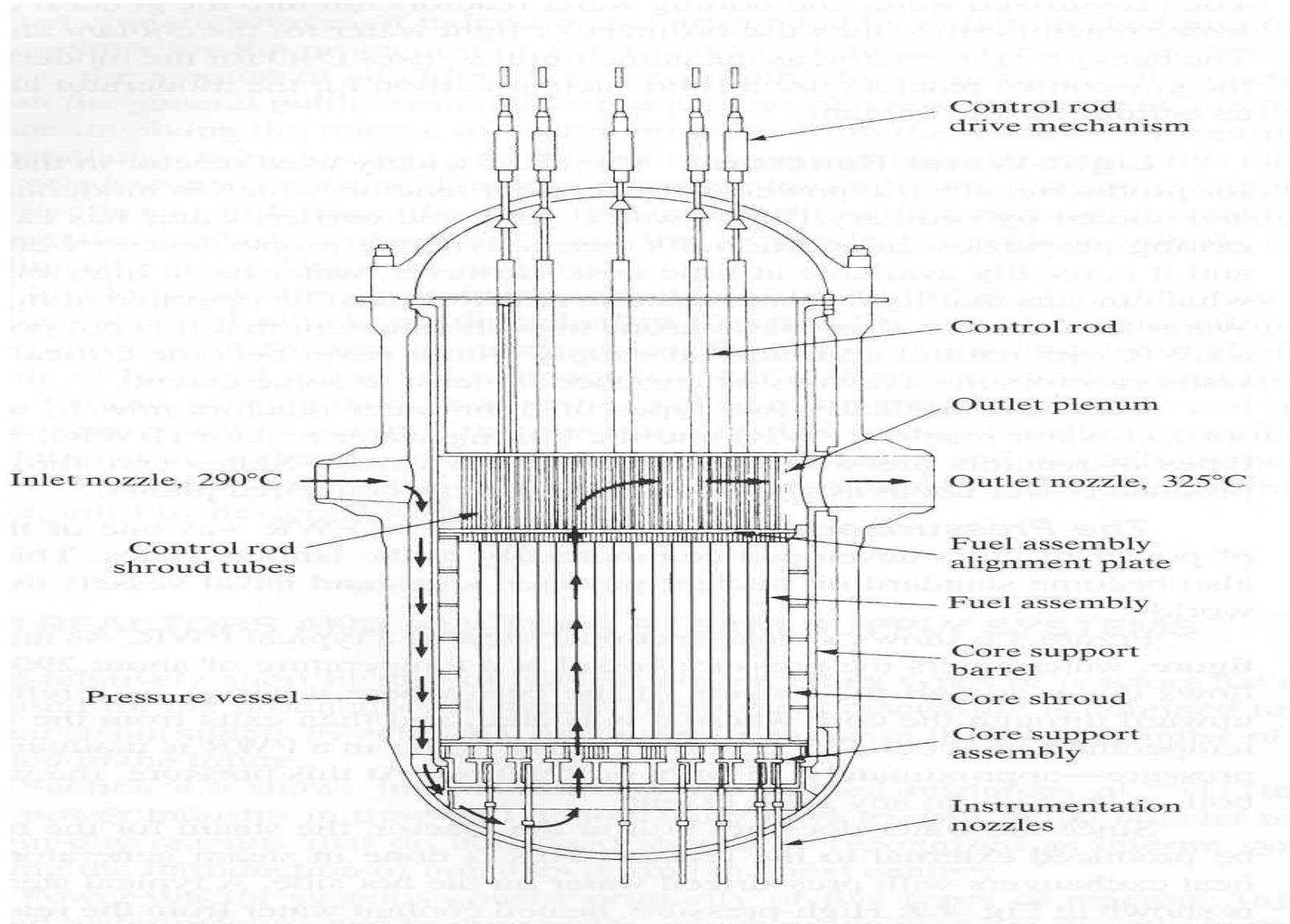
- Ermenistan'daki **Metzamor NES** her biri 408 MW e güce sahip Rus Tipi VVER-440 /230 tipi 2 üniteden oluşan ilk 2.Nesil Reaktörledendir.1989'da radyasyon sızdırınca kapatıldı.1993'te rehabilite edilip yeniden açıldı.Ermenistan'nın önerisi ile ruhsat süresinin 2026'ya uzatılması istenmişsede buna UA EK 2020 Yılında buna karara verecekti.Henüz karar çıkmamıştır.
- Bu NES dünyada ömrünü tamamlamış çok tehlikeli bir nükleer enerji santrali olarak tanımlanmaktadır.
- Metzamor İğdir'a 16 km.mesafededir.
- Oysaki aynı durumda ;Bulgaristandaki **Kozloduy NES** vardı. Kozloduy NES 1980 öncesi kurulan aynı şekilde VVER-440/230 tasarımının eski dört reaktörüyle çalıştı.
- Ancak Avrupa Komisyonu ve Bulgar hükûmeti arasında görüşme ve ABD'de baskısı ile 1993 yılındaki anlaşma gereğince, bu santral **Ünite 1 ve 2** 2004'ün başında devre dışı bırakıldı
- 1987 ve 1991'de yerine RUSYA'nın Belene NES için ürettiği, 2. Nesil VVER-1000 reaktörleri o projeyi iptal ederek buraya kuruldu.
- Kozloduy Kapıkule arası ise 420 km. civarındadır.

PWR(Pressurized Water Reaktor)- Basınçlı Su Reaktörü

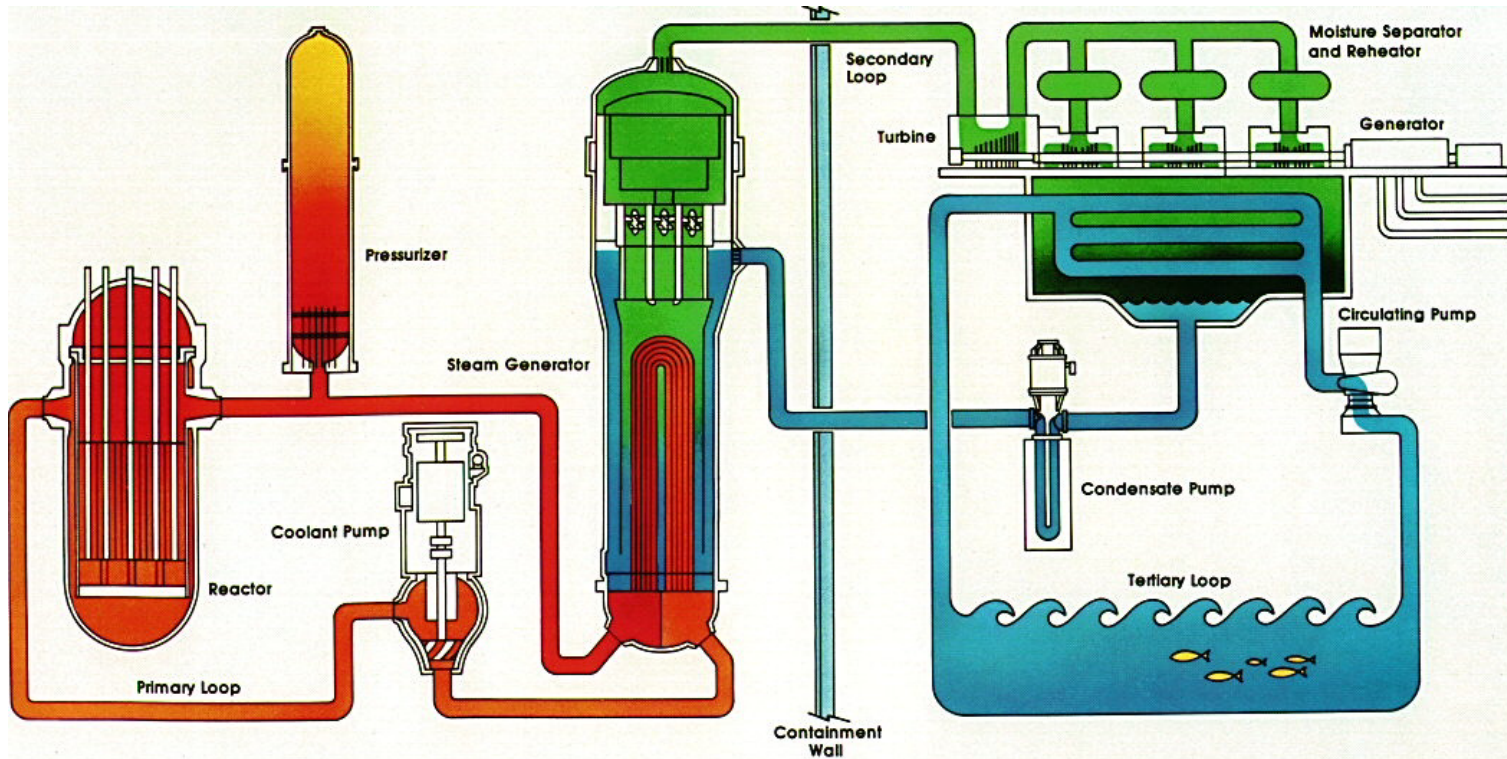
- En yaygın kullanılan reaktör türüdür.
- **Yakıt** : %3-5 seviyelerinde zenginleştirilmiş U-235 izotopu kullanılmaktadır.
- **Soğutucu ve yavaşlatıcı**: Su kullanılır.
- **Moderatör**:Su
- 150 Atm.Sistem basıncı ile soğutucu su sürekli sıvı formda.

- Westinghouse Bettis Labaratuvarlarında ABD'de Nükleer Denizaltılar için geliştirilmiştir.
- İlk nükleer denizaltı Nautilus'da 1954'te kullanılmaya başlanmıştır.
- İlk ticari elektrik üreten reaktör ABD'de bu deneyimden sonra 1957'de 68 MW gücünde üretilen Shippingport Reaktörüdür.
- Bugün çok sayıda ülkede ve firmada bu tip reaktörler üretilmektedir.

PWR Reaktör Ara Kesiti



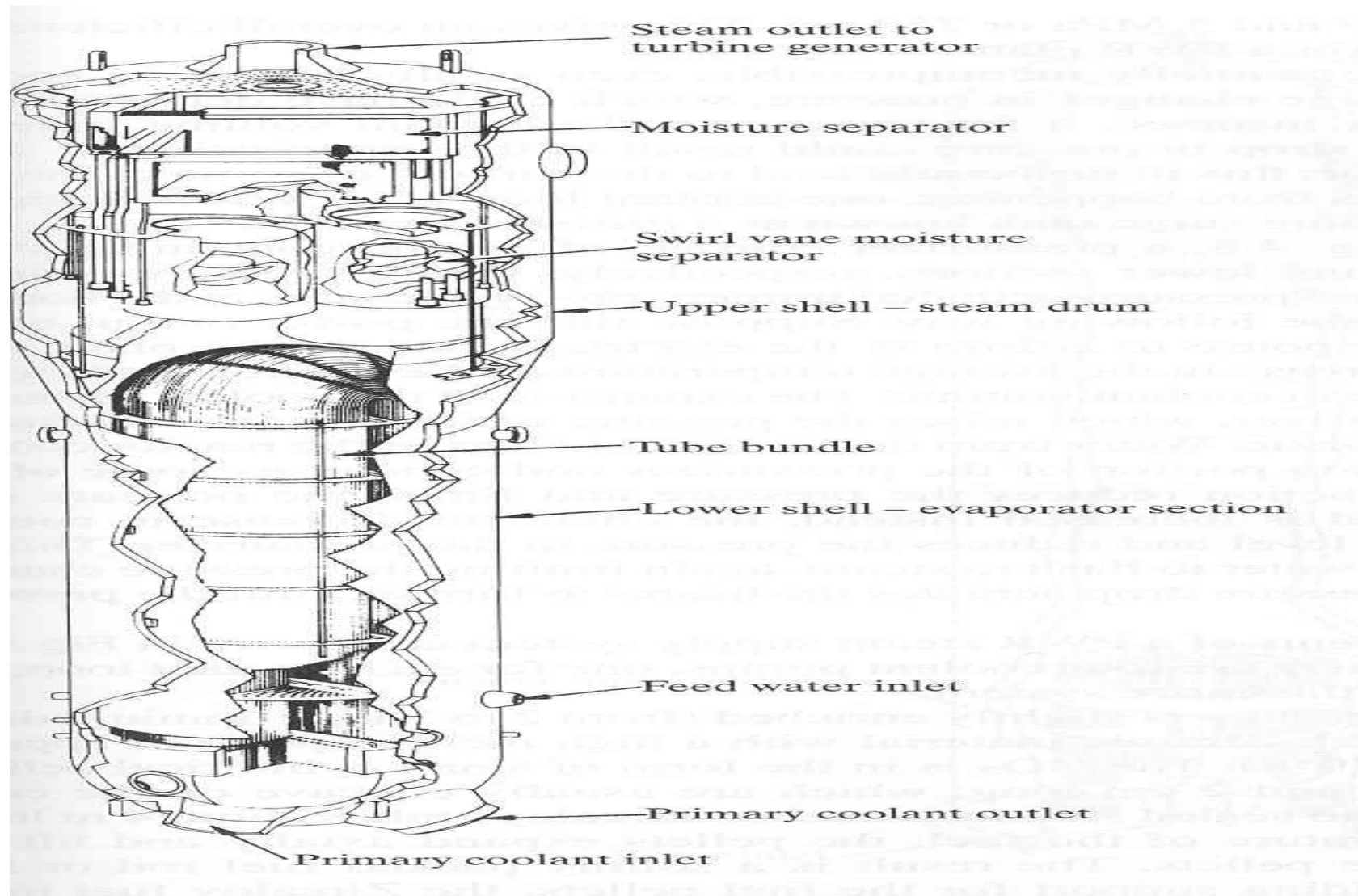
PWR



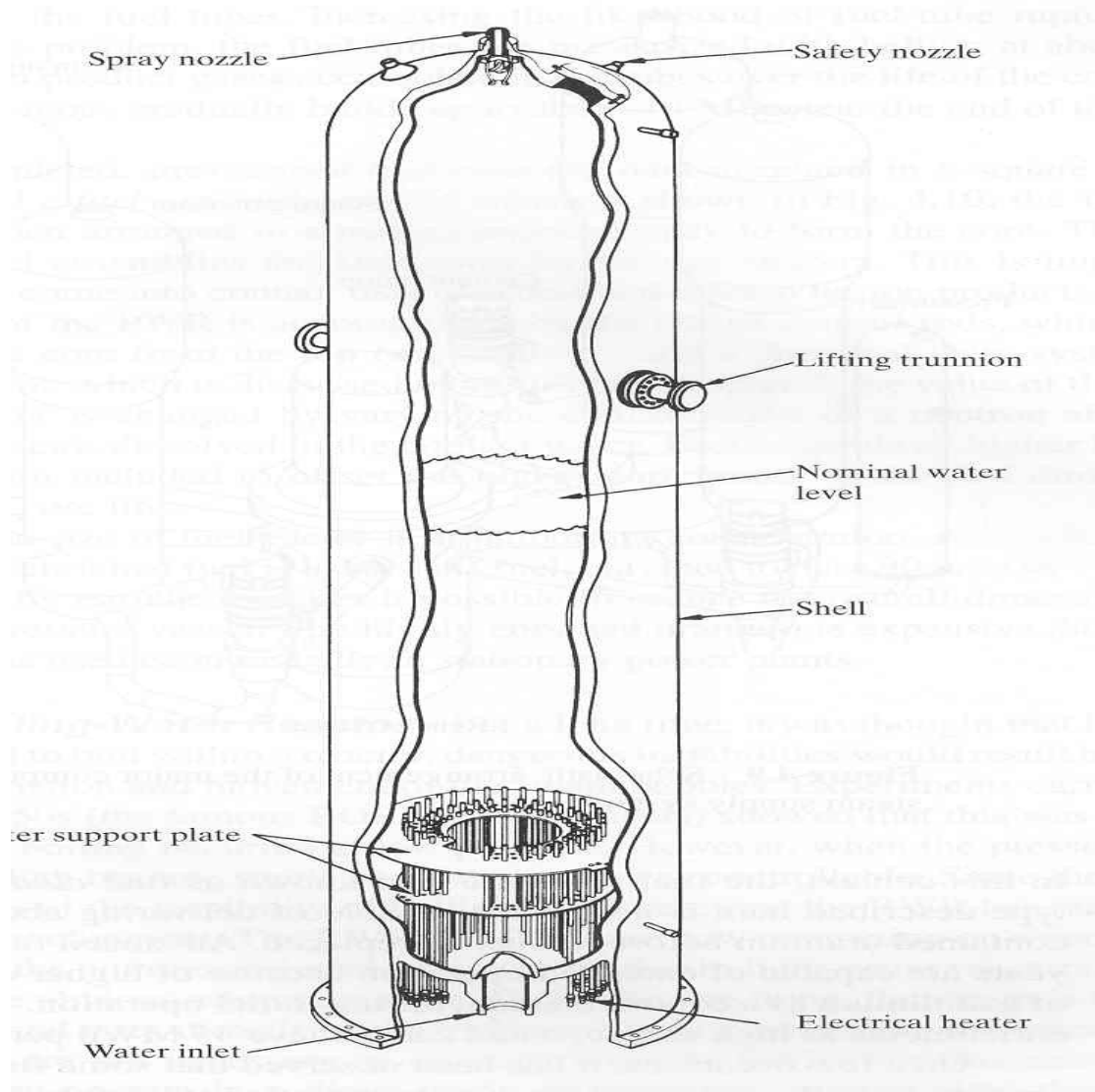
Nuclear Steam Supply System

MB 3618A

PWR(Basınçlı Su Reaktörü) Buhar Jeneratörü(Türbine gidecek buharı üretir)

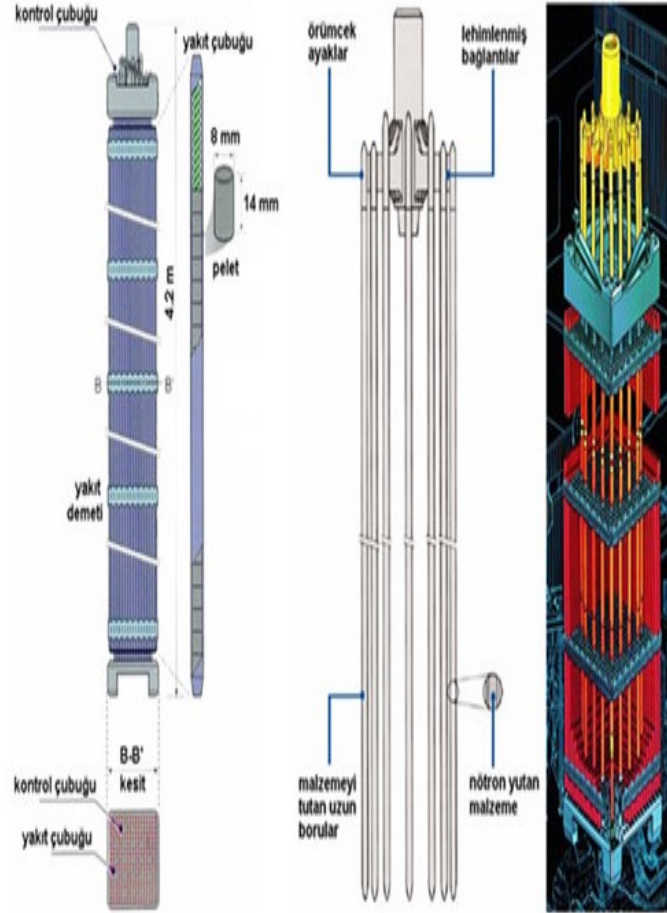


PWR Basınçlandırıcı



Birinci döngü soğutucu suyun buharlaşmaması amacı ile sürekli yüksek basınç altında tutulmaktadır. PWR'deki 1.su döngüsü basıncı yaklaşık 15-16,5 MPa seviyesindedir. (Normal basıncın 150-160 katı) Basınçlandırıcı döngü üzerine bu nedenle eklenmiştir.

PWR'de Yakıt ve Kontrol Çubukları



PWR'de U-235 yakıt peletleri adedi: Herbiri 200-300 yakıt çubuğundan oluşan 14*14;15*15,veya 17*17 demetler halinde düzenlenmiş yakıt demetleri kullanılır.

Yakıt Demeti:

120-250 tanesi yan yana silindire yakın şekilde dizilerek reaktör kabında

Yakıt Bölgesi :

80-100 ton arası bir yakıt bölgesi oluşturulur.

Kontrol Çubukları:

Gümüş-İndiyum ve Kadmiyum alaşımından ve ayrıca reaktör içinde, nötron yutan SOLBOR denilen Borik Asitli Sıvı,

Ayrıca yakıt peleti üzerinde sabit zehir denilen nötron tutucularda kullanılır.

Nükleer Enerjiye Neden Önemli

- Hidrolik enerji yoğunluğu (~ 0.001 kJ/gr)
- Kimyasal enerji yoğunluğu (~ 40 kJ/gr) iken
- Nükleer Enerji ise enerji yoğunluğu (~ 90 trilyon kJ/gr) olan Kıyaslanamayacak bir enerji üretim şeklidir.
- Toryuma aynı mantıkla bakılırsa, 1 ton Toryumun enerjisi yaklaşık 35 ton Uranyumun enerjisine eşittir.

Kapasite Faktörü

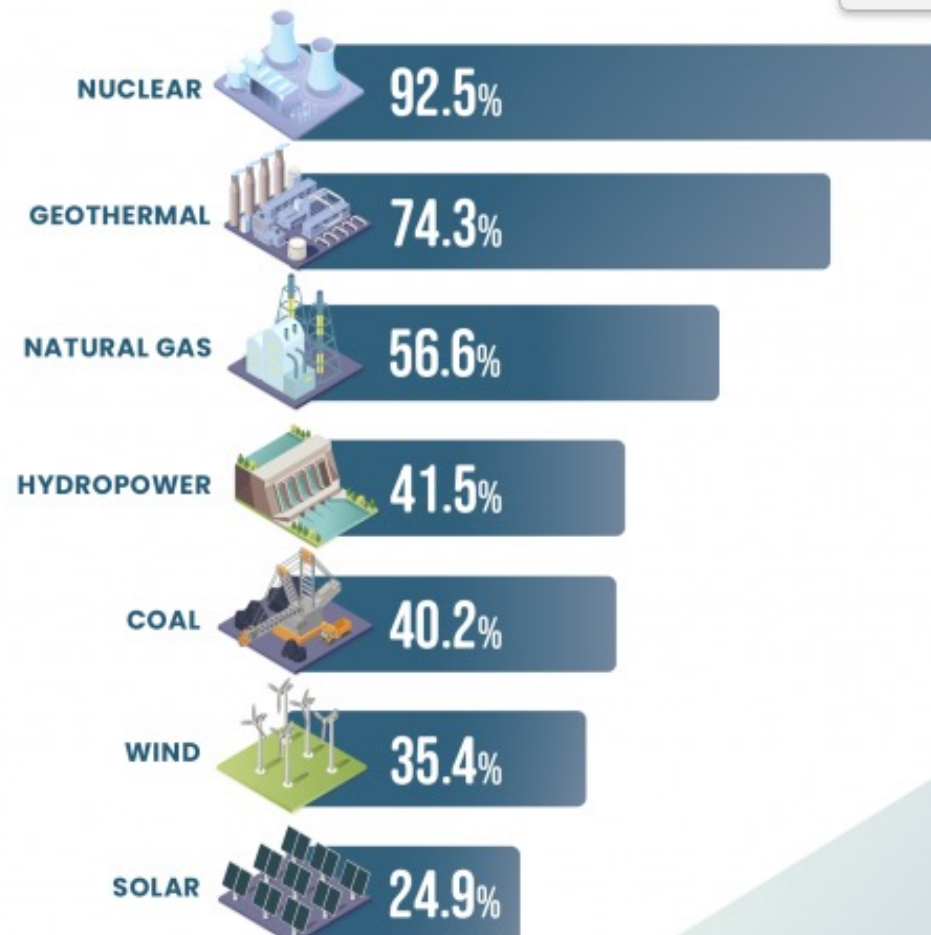
Capacity Factor by Energy Source in 2020

Source: U.S. Energy Information Administration

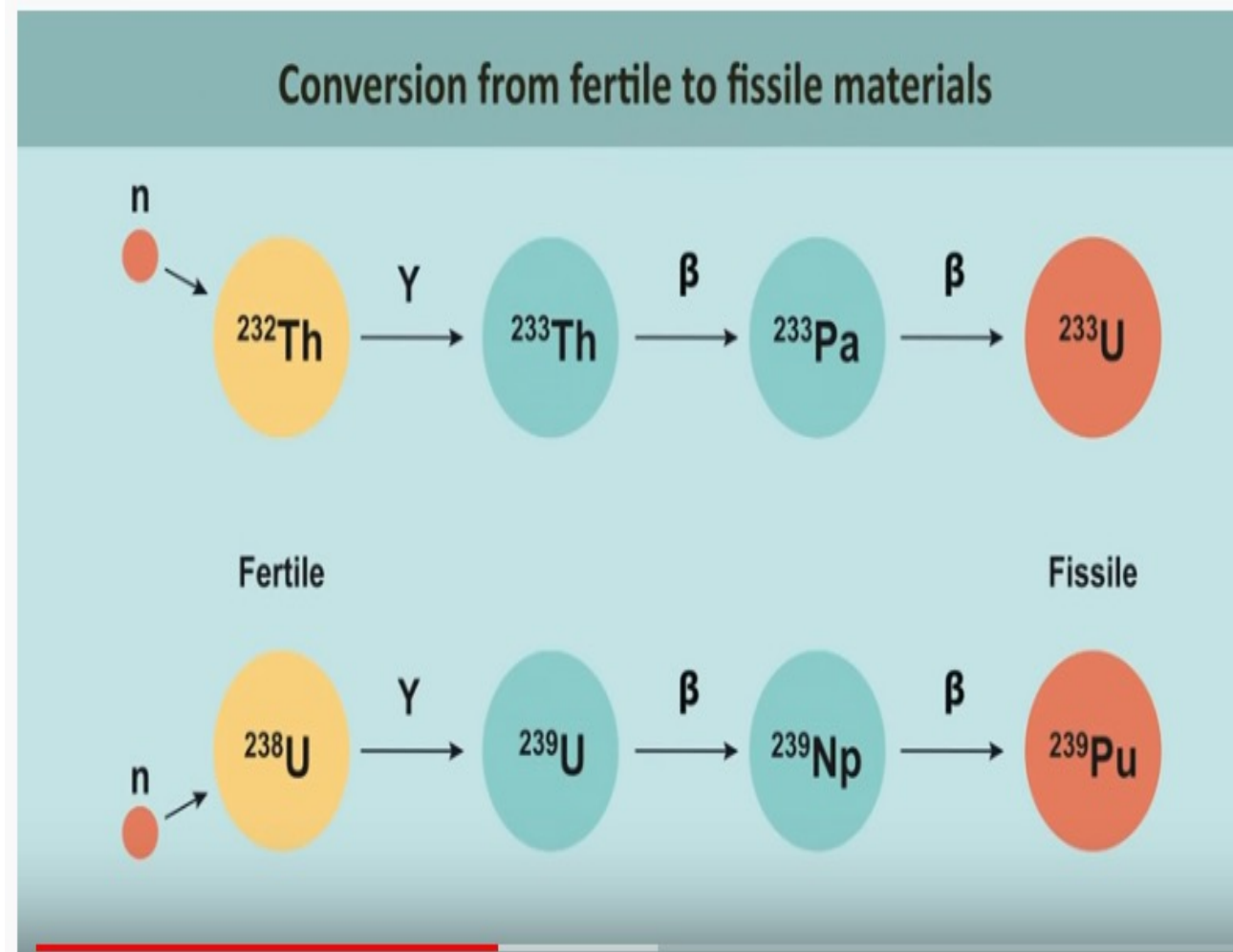


U.S. DEPARTMENT OF
ENERGY

Office of
NUCLEAR ENERGY



Fertilden Fizile dönüş sürecinde Toryum ve Uranyum



Nükleer Enerji Oluşumu

- η : fisil bir nüklidin nötron yutması sonucu fisyon reaksiyonuyla ortaya çıkan nötron sayısı.

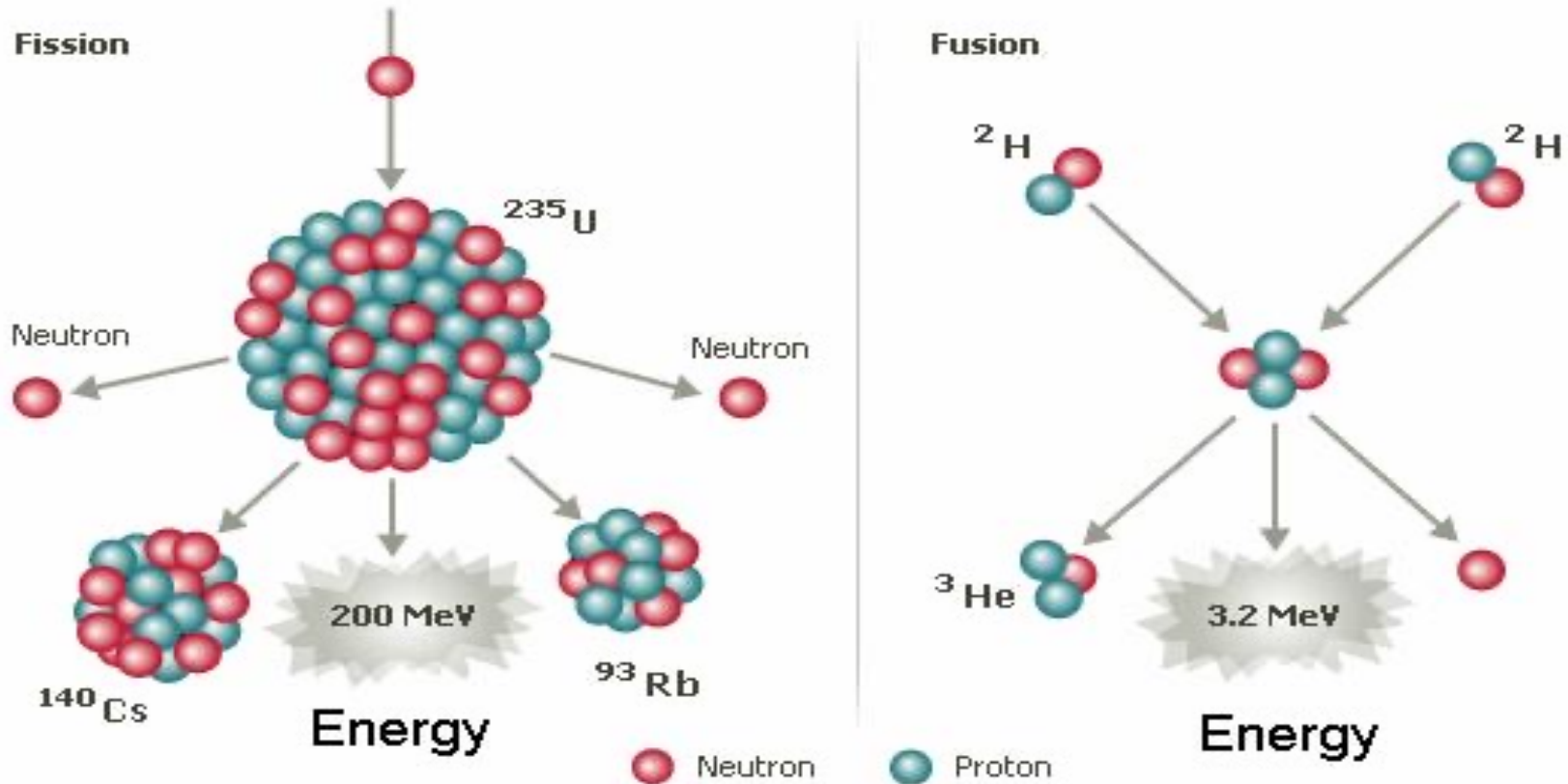
ν : fisyon reaksiyonuyla ortaya çıkan nötron sayısı.

σ_f : fisyon ara kesiti.

σ_a : nötron yutma ara kesiti.

$$\eta = \nu \frac{\sigma_f}{\sigma_a}$$

Nükleer Reaksiyonlar



1 Megaelectron Volt = 1 MeV =
 $1.60217662 \times 10^{-13}$ Joules
1 Kalori = 4,184 Joule
1 KWh = 3.6 Mega Joule

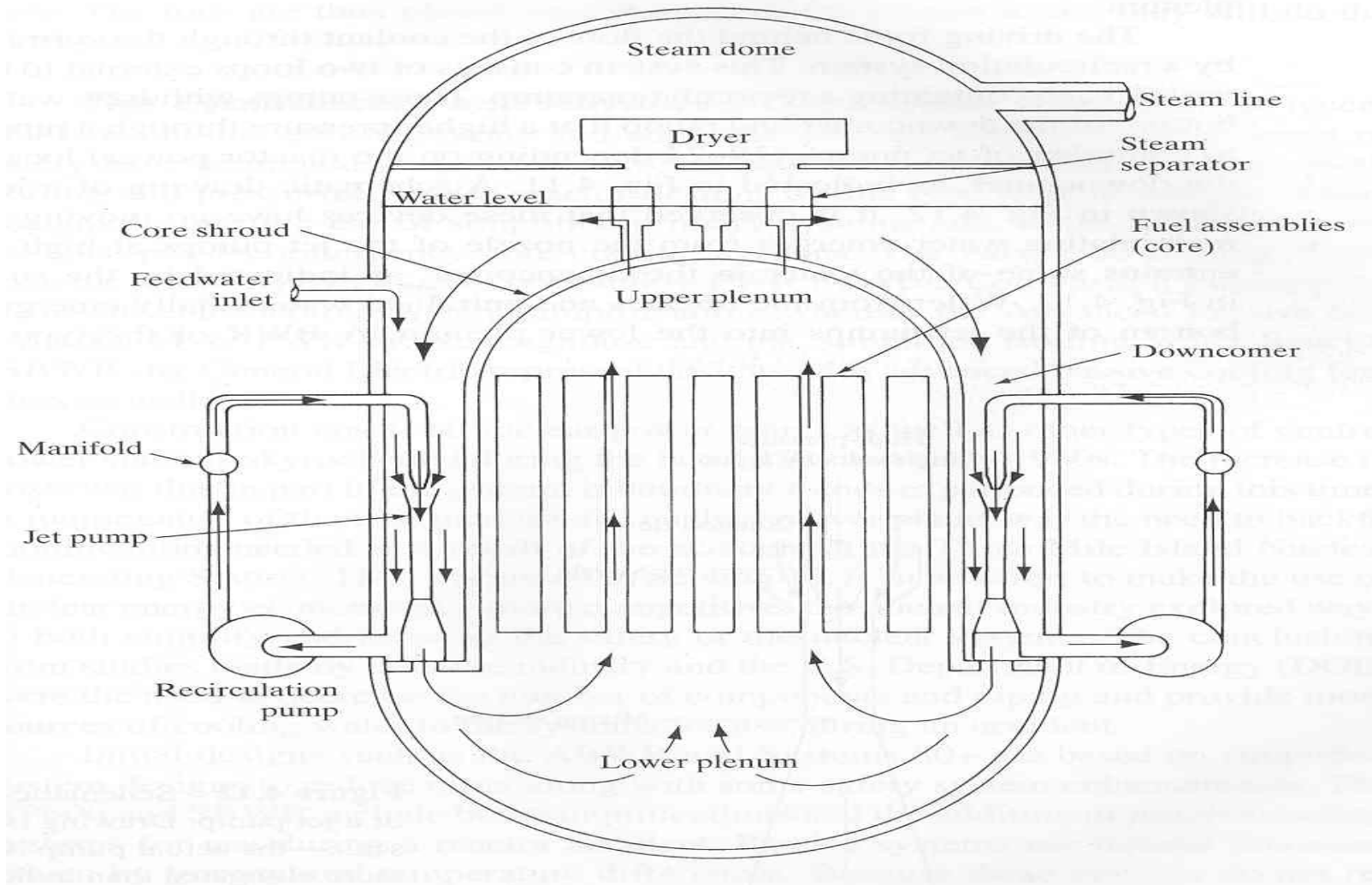
Evren ve Nükleer

- ***Evrendeki Elementlerin Oluşmasında Nükleer Reaksiyonların Önemi*** konusunda yaptığı teorik ve deneysel çalışmalar sonucu **Subramanyan Chandrasekhar** ile birlikte 1983 yılında Nobel Fizik Ödülünü Amerikalı Astrofizikçi **William Fowler**'a göre;
- **Büyük Patlamanın ilk 3 dakikasında sadece H ve He oluşmuştur.**
- **Evrende Güneş ve Güneşten 8 kat ve 25 kat büyük çok sayıda gezegen oluşmuştur. Bu gezegenler nükleer reaksiyonlarla ortaya çıkmıştır**

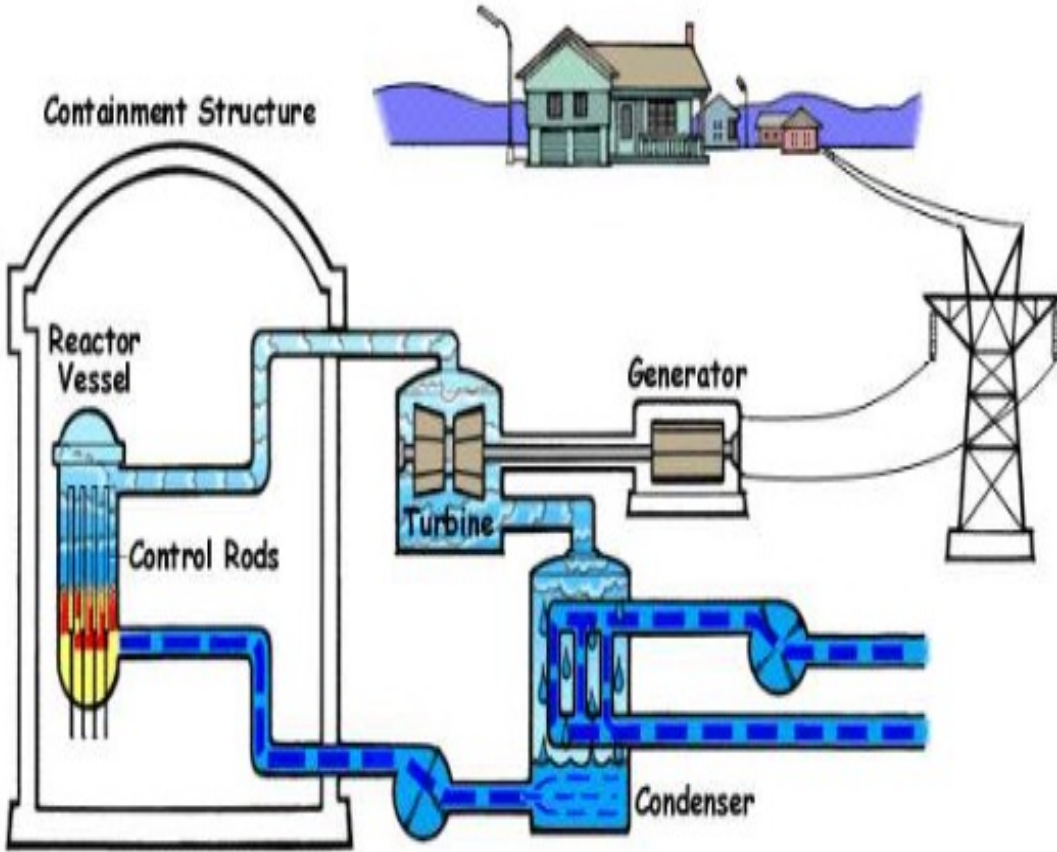
Evrendeki bir işleyiştir Fission ve Füzyon

- **Güneşte fission'da füsyonda gerçekleşir.Ancak Güneşte Fe'ye kadar elementler üretilir Fe üretilemez.**
- **Güneşten 8 kat büyük yıldızlar içerisinde en son Fe üretilmektedir.Bu reaksiyonlar füsyon reaksiyonlarıdır.**
- **Daha ağır olan elementler Uranyum gibi ise Füzyonla yani çekirdek birleşmeleri ile Güneşten 8-25 kat büyük Süpernova Patlamaları sonucunda oluşuyor.**
- **Bu nedenle Uranyuma STAR DUST'ta denilmektedir.**

BWR (Boiling Water Reactor) Kaynar Su Reaktörleri



BWR



Bu reaktör termal reaktördür.

Yakıtı:%3 Zenginleştirilmiş UO_2

Soğutucu:Su
Medaratör:Su

Tek döngülü soğutma sistemi var.

Su kalp içinde kaynar.

Avantajı:Ara ısı aktarma aracı yoktur

Sistem basıncı düşüktür.

Soğutucu akışkan

kontrol edilerek güçte

kontrol edilebilir.

Yakıt Yükleme için:

Reaktör kapatılmalıdır.

BWR

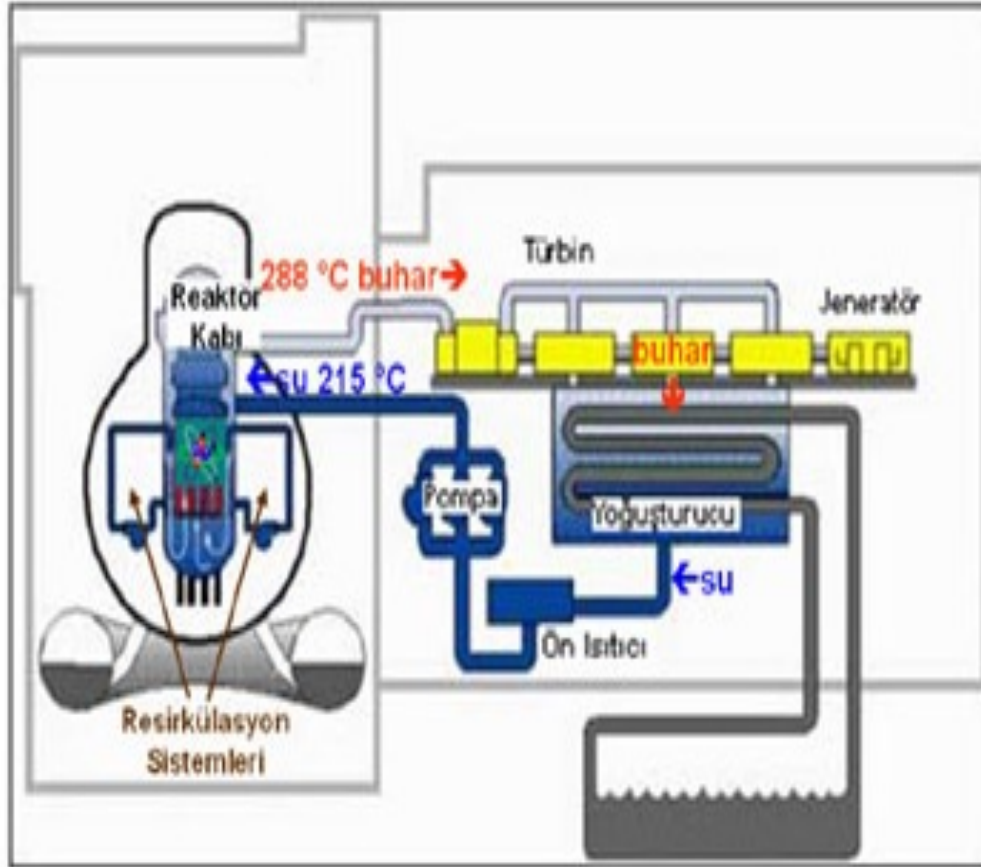
BWR Dünyada PWR 'den sonra en yaygın reaktör türüdür.
Kalp içindeki Basınç kapları büyüktür.
Kaynama dolayısı ile güç üretim yoğunluğu düşüktür.
Türbin odasında zırhlı durumdadır.

2 Adedi Japonyada ilk 3 nesil tasarım reaktörü olarak olmak üzere dünyada 93 adet BWR reaktörü çalışmaktadır.Sadece Japonya ve ABD'de 77 adet BWR/ABWR reaktörü bulunmaktadır.

2 adet İleri tasarım ABWR reaktörü Tyvan'da inşa halindedir. Bunlarda su hem soğutucu hemde yavaşlatıcı olarak kullanılmaktadır.

Bu reaktörlerin ticari amaçlı ilk örnekleri Allis Chambers ve General Electric Firmaları tarafından üretilmiştir.

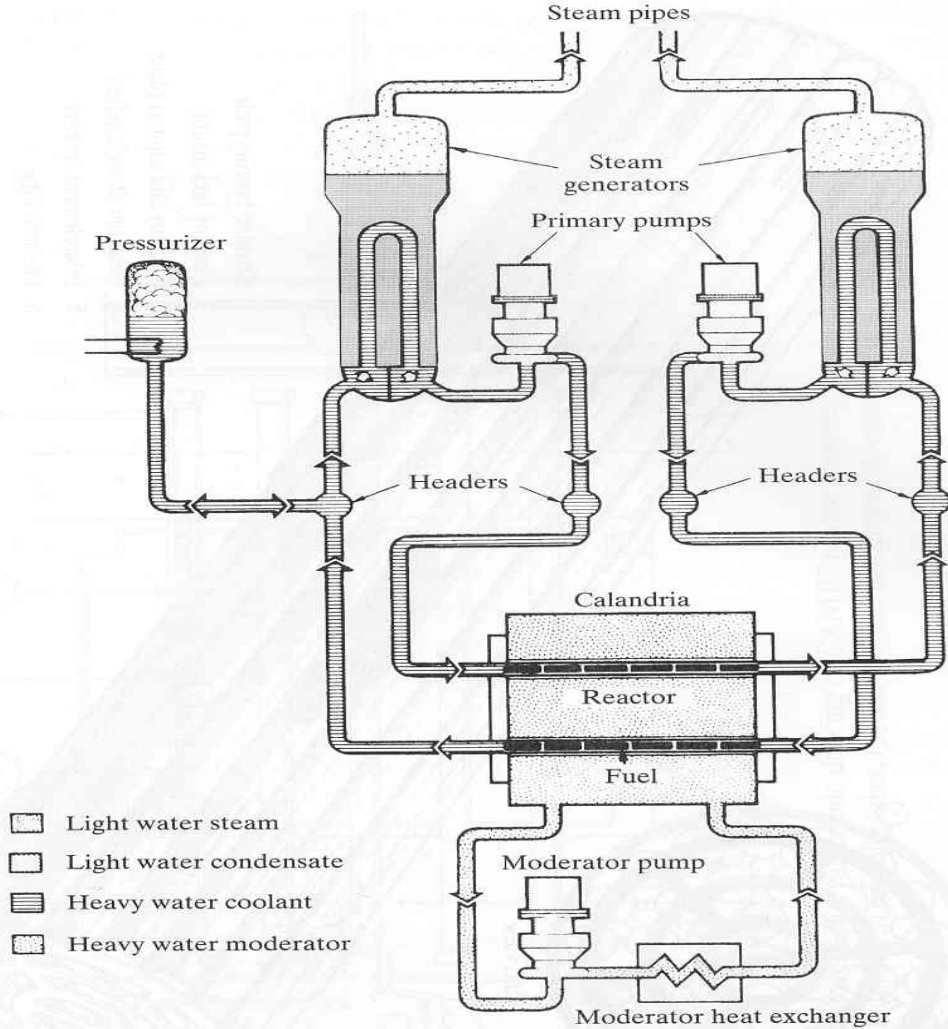
BWR'lerde Yakıt



Yakıt Peleti:
6*6 -7*7-8*8-9*9 veya
10*10 'luk demetler
halinde ,
750 tanesi yan yana
dizilerek silindir şeklinde
yakıt bölgesi oluşturulur.

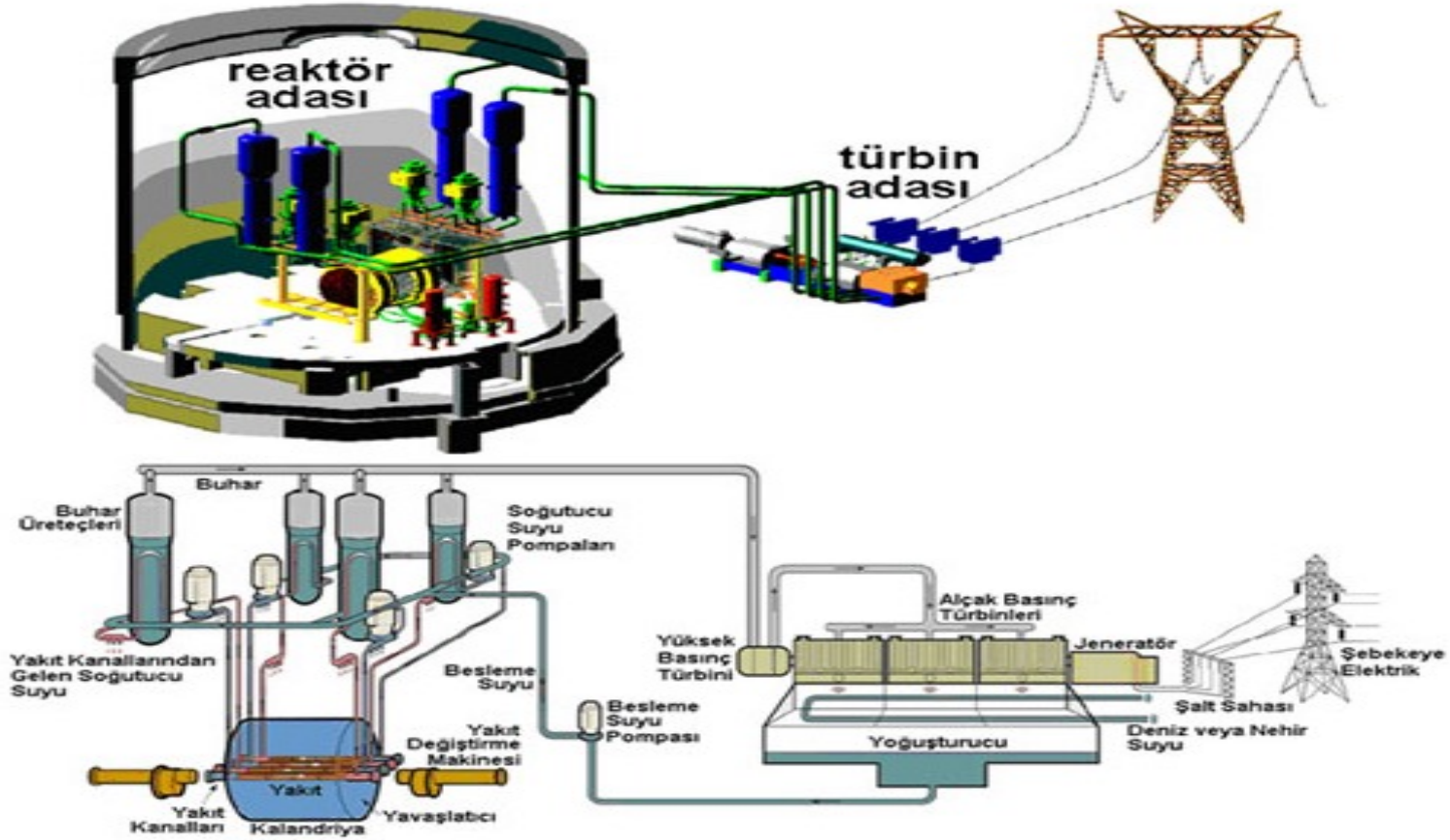
Yakıt Miktarı: 140 ton olup
4,5 yıl reaktör kalbinde
kalmaktadır.

PHWR(Pressured Heavy Water Reaktor) Basıncılı Ağır Su Reaktörü

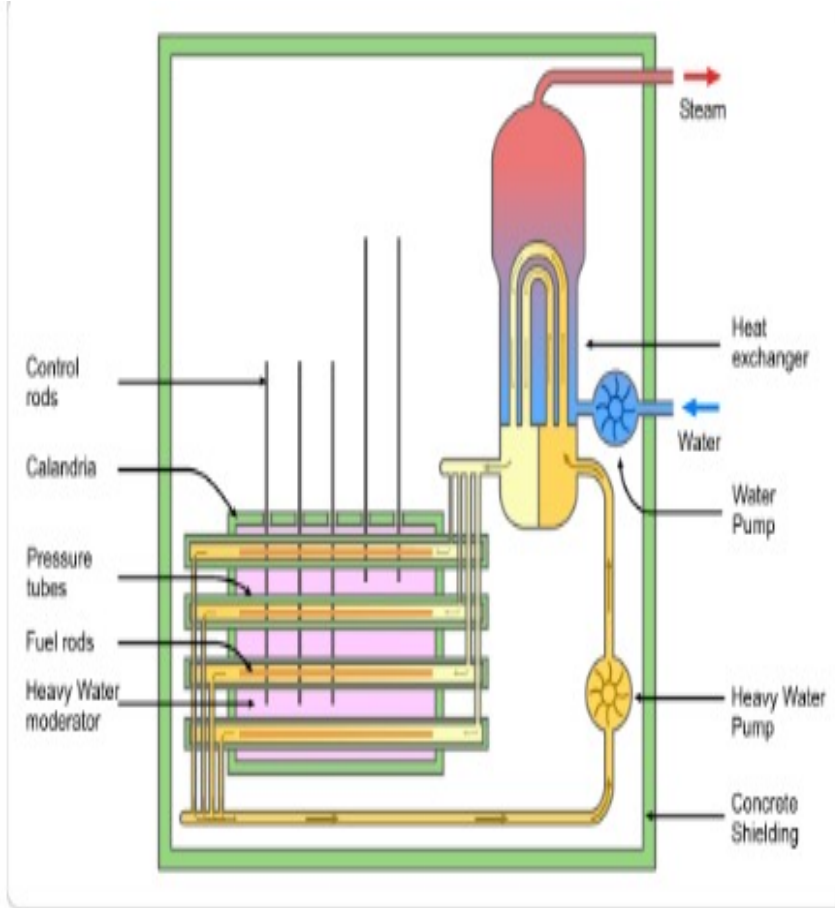


Büyük bir reaktör basınç kabı yerine CANDU'da basınçlı tüpler kullanılmaktadır. Bu tasarımda reaktör "Calandria" adında yatay silindir şeklinde bir tanktan oluşur ve ağır su reaktörde atmosferik basınçta bulunur. Ağır su soğutucu bu tüplerden 10 MPa basınçta geçerken geniş çapta kaynamamaktadır. Ağır su mükemmel bir moderatördür. Bu reaktöre çalışırken yakıt yüklenir.

PHWR Genel Şeması



Candu PHWR (Basınçlı Ağır Su Reaktörü(

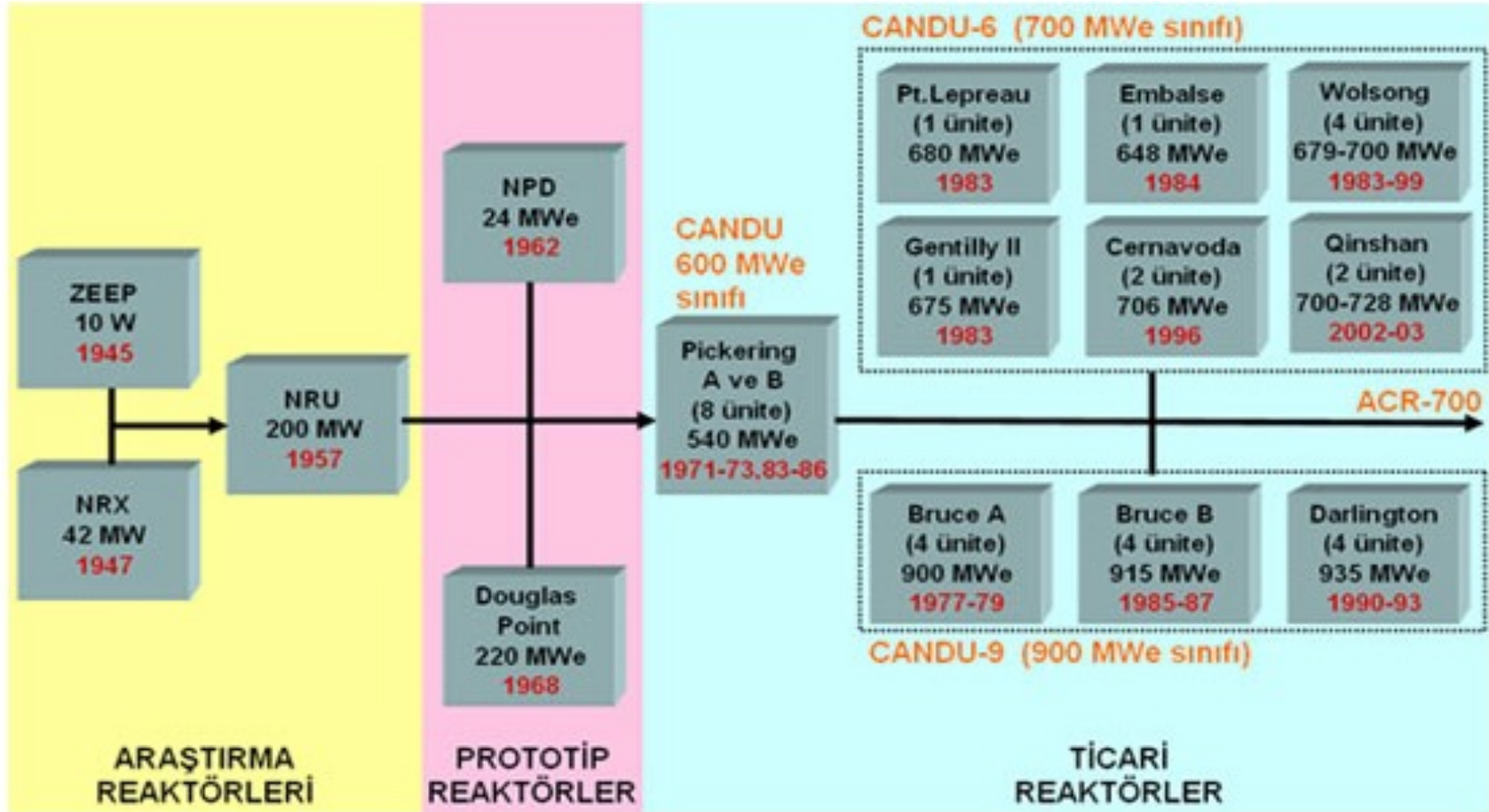


CANADA Üretimi Candu Ağır Su Reaktörü,
Bir termal reaktördür.
Yakıt:Doğal UO_2

Soğutucu:Ağır Su
Moderatör:Ağır Su'dur.
Yakıt:Çalışırken yüklenebilir

Canada tarafından geliştirilmiştir(CANDU).
Bunlardan bazıları Soğuk Savaş döneminde ABD için ATOM Bombası'na esas olmak üzere Plütonyum üretmek üzere tasarlanmıştır

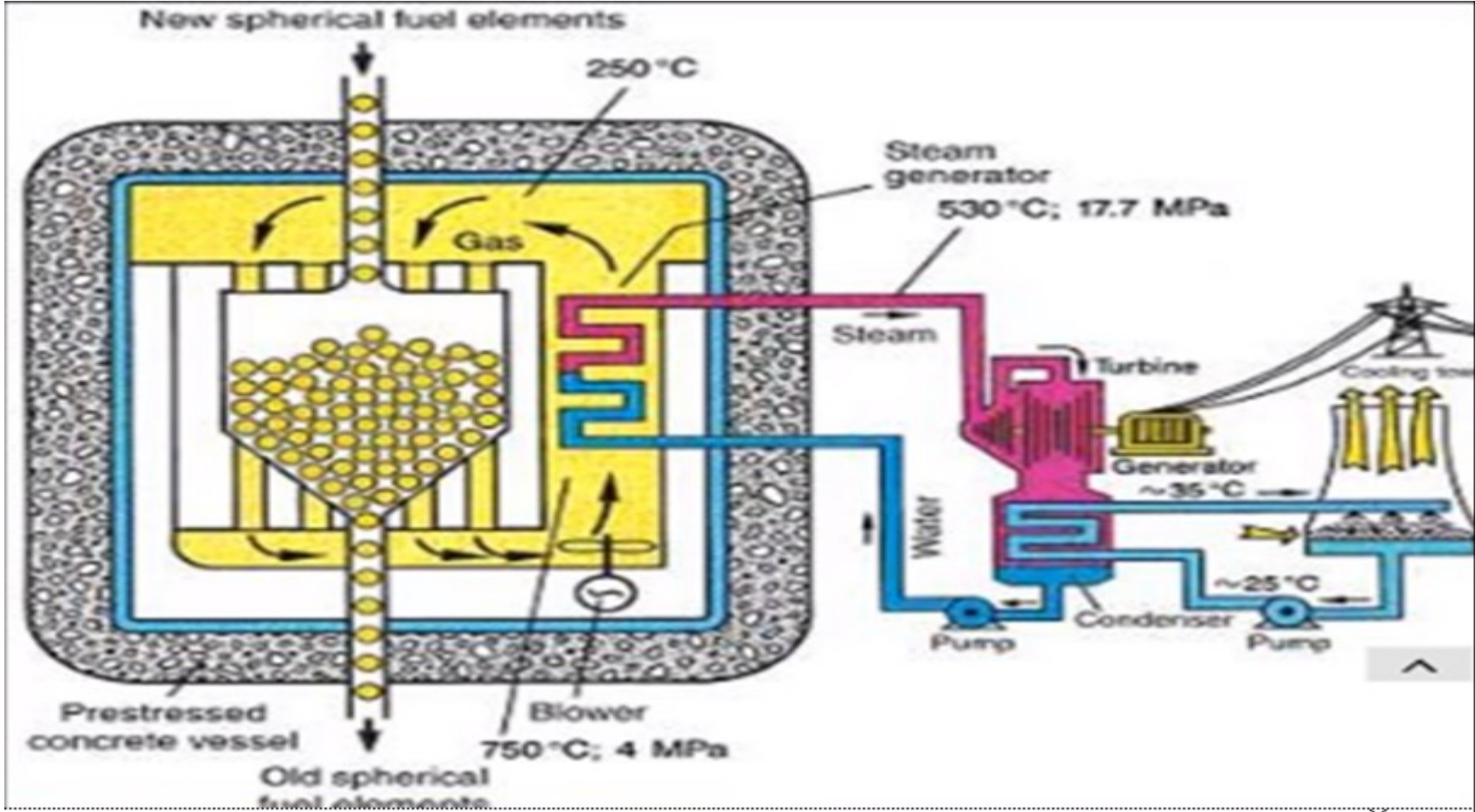
CANDU NES'LERİ



Hindistan Deneyimi ve CANDU

- Canada 60'lı yıllarda Hindistan'a CANDU satmıştır.
- 200 MWe Douglas Point'in benzeri Hindistan'da Rajasthan RAPP-1 ve 2 olarak kurulmuştur.
- RAPP-1 1972'de çalışmıştır.
- Fakat RAPP-2 devam ederken Hindistan nükleer silah denemesi yapmıştır.
- Canada-CANDU Projesi bu aşamada çekilmiştir.
- Hindistan RAPP-2'ye kendi imkanları ile 1980'de tamamlamış , o ana kadar elde ettiği teknoloji ile kendi milli fakat düşük güçte PWHR'ni geliştirmiştir.

Çin ve Hindistan'da geline aşamada geliştirdikleri Pebble Bed Reactor'de(GCFR) U_{235} ve Th_{232} yakıt olarak birlikte kullanılıyor



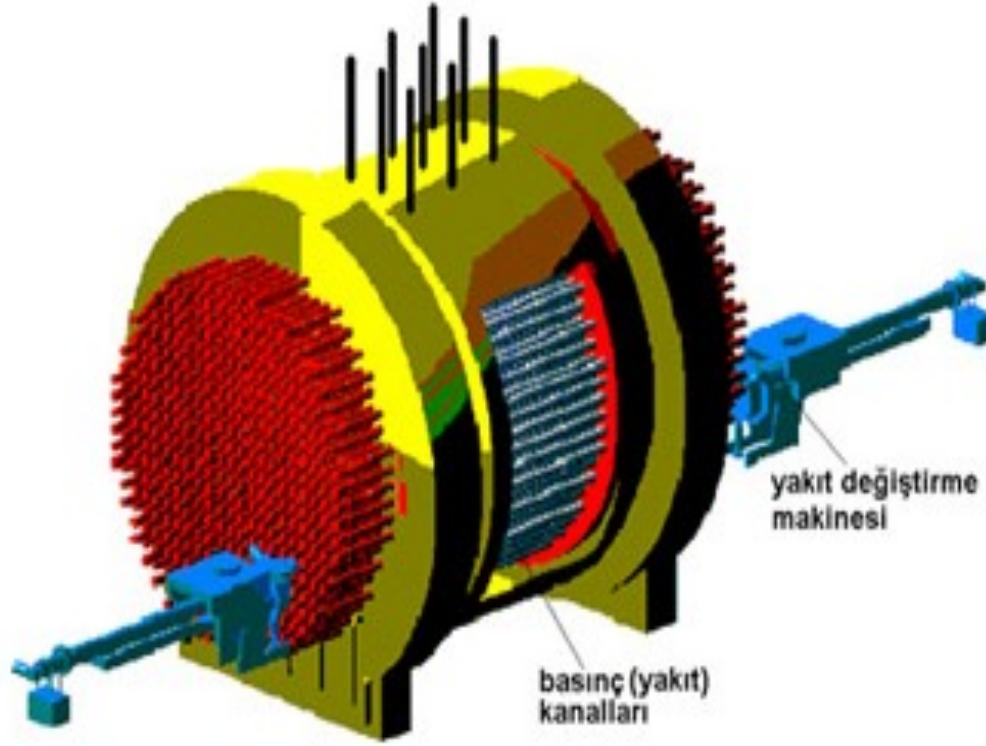
NER Tiplerine bağlı olarak Yakıt Peleti Kaplama, Moderatör, Kontrol Çubukları ve Soğutucu

	AğIR SU	HAFİF SU	LİKİD METAL	ÇAKIL YATAKLI
PELET KAPLAMA	Zr	Zr	-	Mg-Al ALAŞIMI
MODÖRATÖR	D ₂ O	Grapithe	N/A	Grapithe
KONTROL ÇUBUĞU	Cd, B Çelik	Cd, Hf	Cd-Hf	N/A
SOĞUTUCU	D₂O	H₂O	Na	CO ₂ , He

PHWR'lerde Yakıt

- **Candu'nun bu tiplerinde yakıt:**
Doğal uranyumdan oluşmaktadır..
Uranyum Dioksit peletler :
12mm. Çapında ve 50 cm. boyunda imal edilmekte ve **Zirkolay-4** alaşımından imal edilmiş olan borulara sırayla doldurulmaktadır.
- **Yakıt çubukları:**
37 tanesi bir araya getirilerek 10 cm. çapında ve 50 cm. uzunluğunda kısa yakıt demetleri
- **Kontrol çubukları :**
Kadmiyumdan yapılmıştır.
Yakıt demetleri :
Candu-6'larda 12 adet ,Candu-9'larda 13 adet demet bulunmaktadır.
- **Yakıt Ömrü:**
Bu demetler reaktörde yaklaşık 1 yıl görev yapmaktadır.

PHWR'de Yakıt otomatik sistemle reaktöre yükleniyor

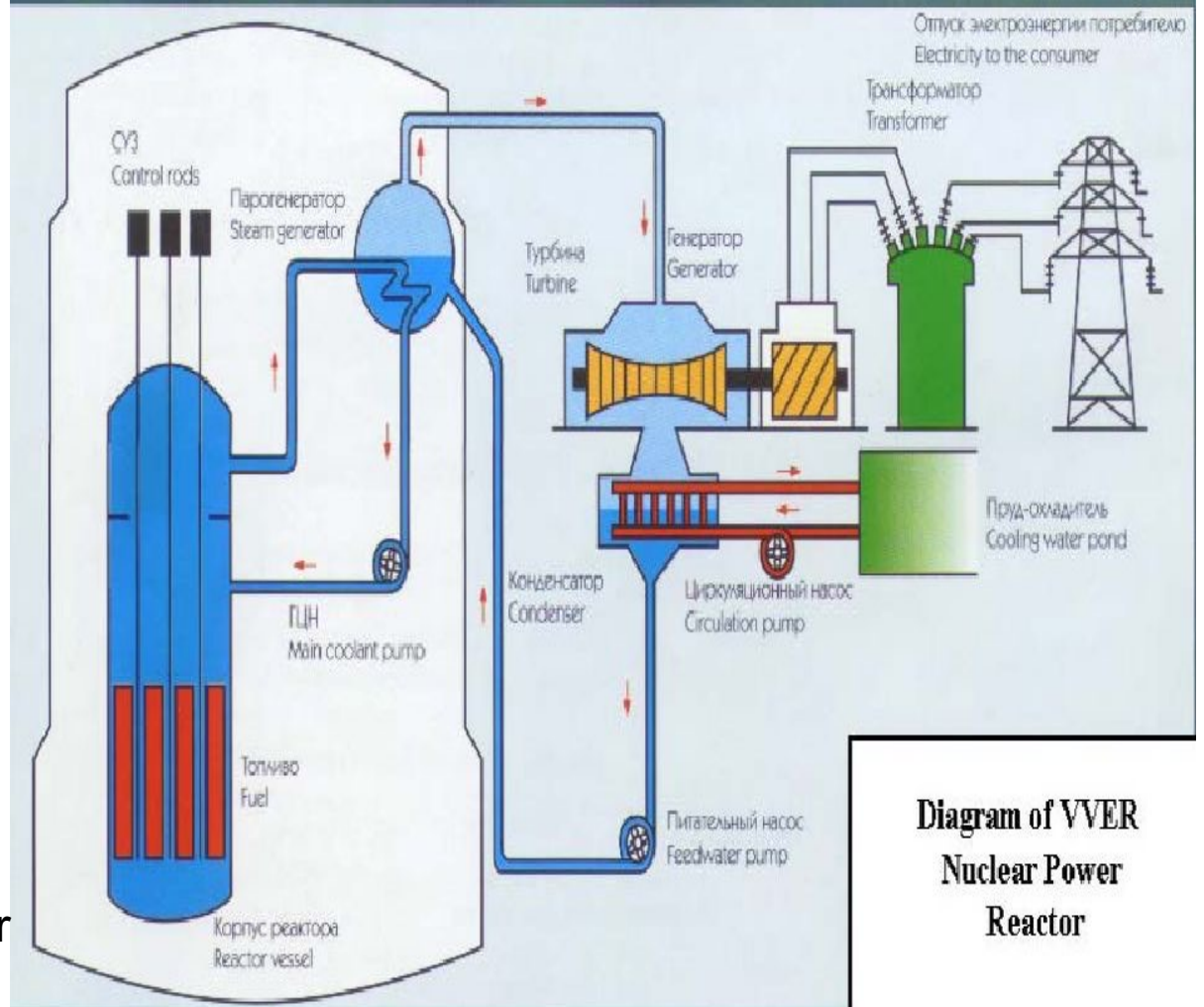


VVER(Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reactors) -Rus Basınçlı Su Reaktörü

- VVER serisi reaktörler eski Sovyetler Birliği ülkeleri, eski Doğu Bloğu ülkeleri, Finlandiya, Hindistan ve Çin gibi dünyanın birçok ülkesinde kullanılmaktadır. Reaktörün temel tasarımı Batı tipi PWR'ye benzemesine karşın birkaç konuda farklı özelliklere sahiptir.
- 1970 yılında VVER serisinin birinci nesli olan VVER-440 reaktörleri işletmeye alınmıştır.

VVER Akış Diyagramı(VVER 1000)

Dünyada inşa halindeki 10 adet VVER tipi reaktörlerden 4'ü **VVER-1200** tipi reaktörlerdir. VVER-1200 gibi 3. nesil olarak nitelendirilen başka reaktör tipleri de bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak Güney Kore tasarımı APR1400, Fransız tasarımı EPR ve ABD tasarımı AP1000 verilebilir. Bu reaktörlerin hiç birinin işletme halinde bulunan bir örneği bulunmamaktadır.



**Diagram of VVER
Nuclear Power
Reactor**

VVER'de Yakıt-Kontrol Demeti-Moderatör ve Güç

Yakıt:

PWR'den farklı olarak 6 den prizma yakıt demetleri kullanılmaktadır.

Kontrol Demeti:

Reaktör kalbinde 312 yakıt demeti ve 37 kontrol demeti bulunur.

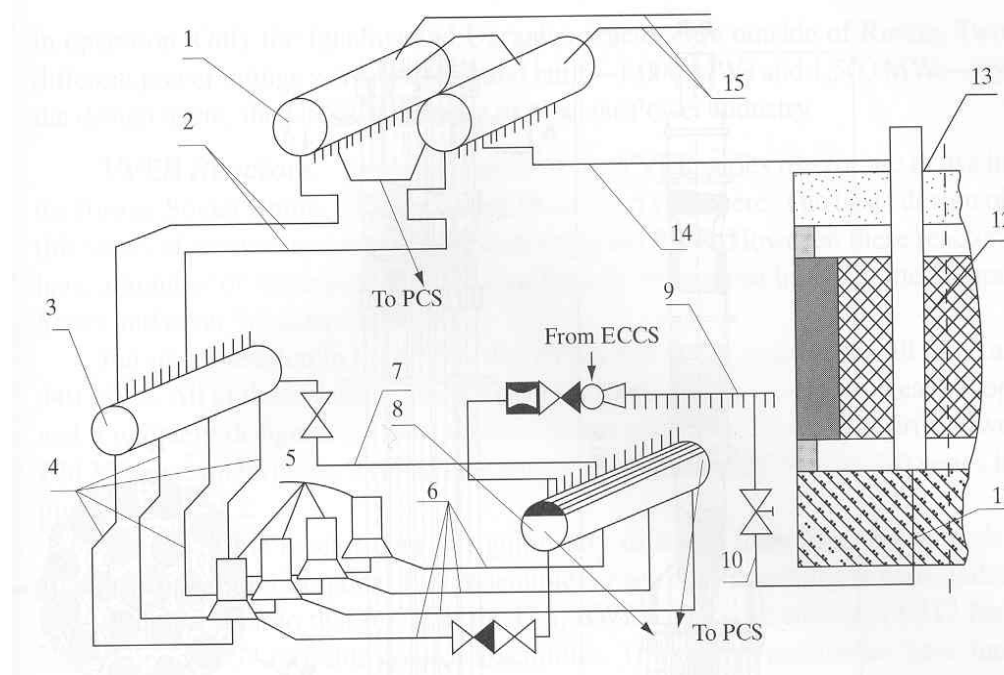
Moderatör:

Reaktivite kontrolü için yine Borik Asit kullanılır.

Reaktörün Gücü:

- VVER-1000 serisi reaktörler standart Batı tipi PWR'ye benzeyen dört çevrimli reaktörlerdir.
- 1980'li yılların ortalarında işletmeye alınmaya başlanmış olup reaktör kurulu gücü 1000 MW'dır.

RBMK(Reaktor Bolşoy Moshchnosti Kanalniy) –Sovyet Kaynar Su Reaktörü

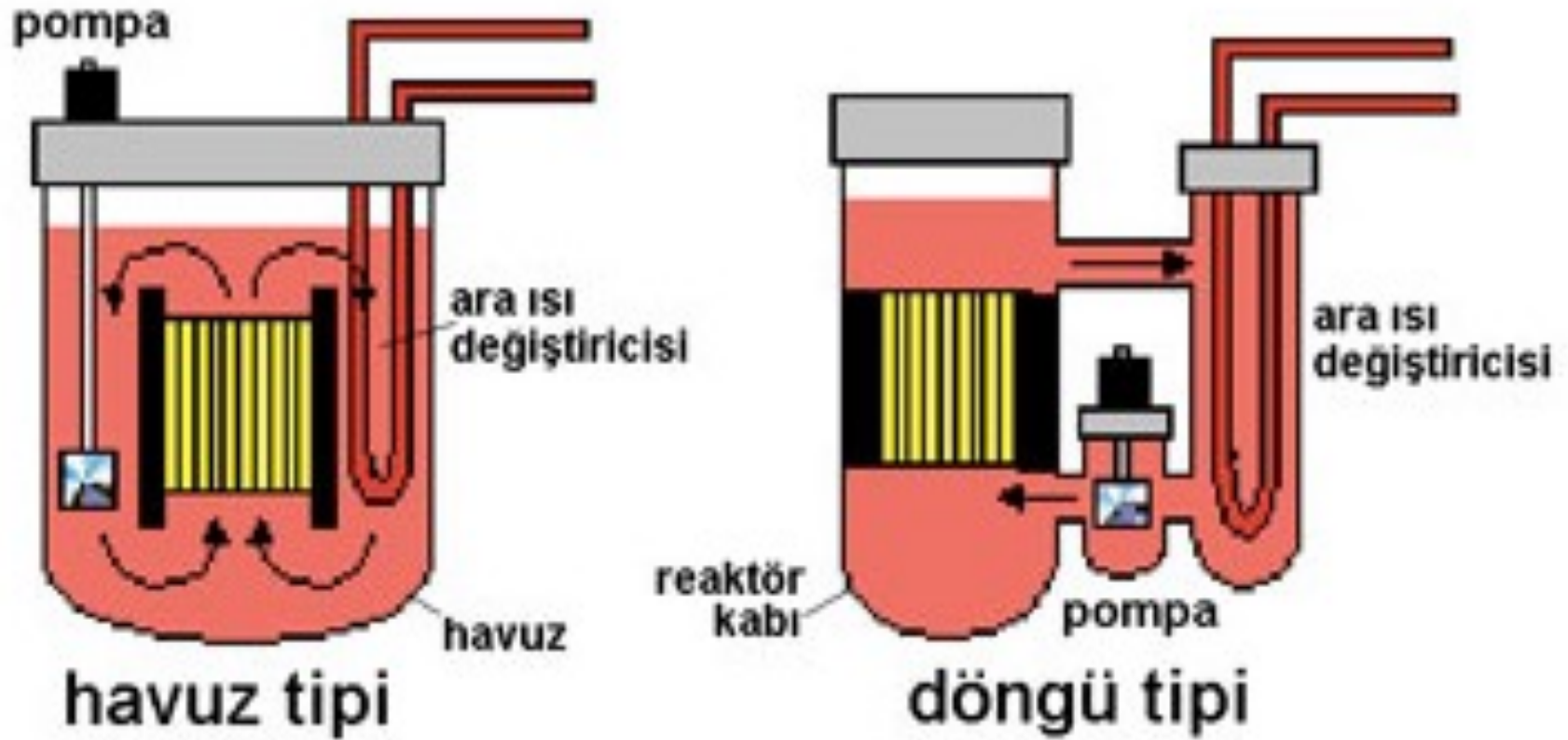


RBMK ekipmanları şeması. 1-ayırıştırıcı tambur, 2-aşağı akım, 3-emiş kolektörü, 4-MCP emiş boruları, 5-MCP tankları, 6-MCP basınç boruları, 7-bypass kolektörleri, 8-basınç kolektörü, 9-akış kontrol valfli dağıtım kolektörü, 10-su boruları, 11-reaktör kalbi kanalı, 12-yakıt kanalı, 13-reaktör kalbi üstü kanal, 14-buhar-su boruları, 15-buhar boruları.

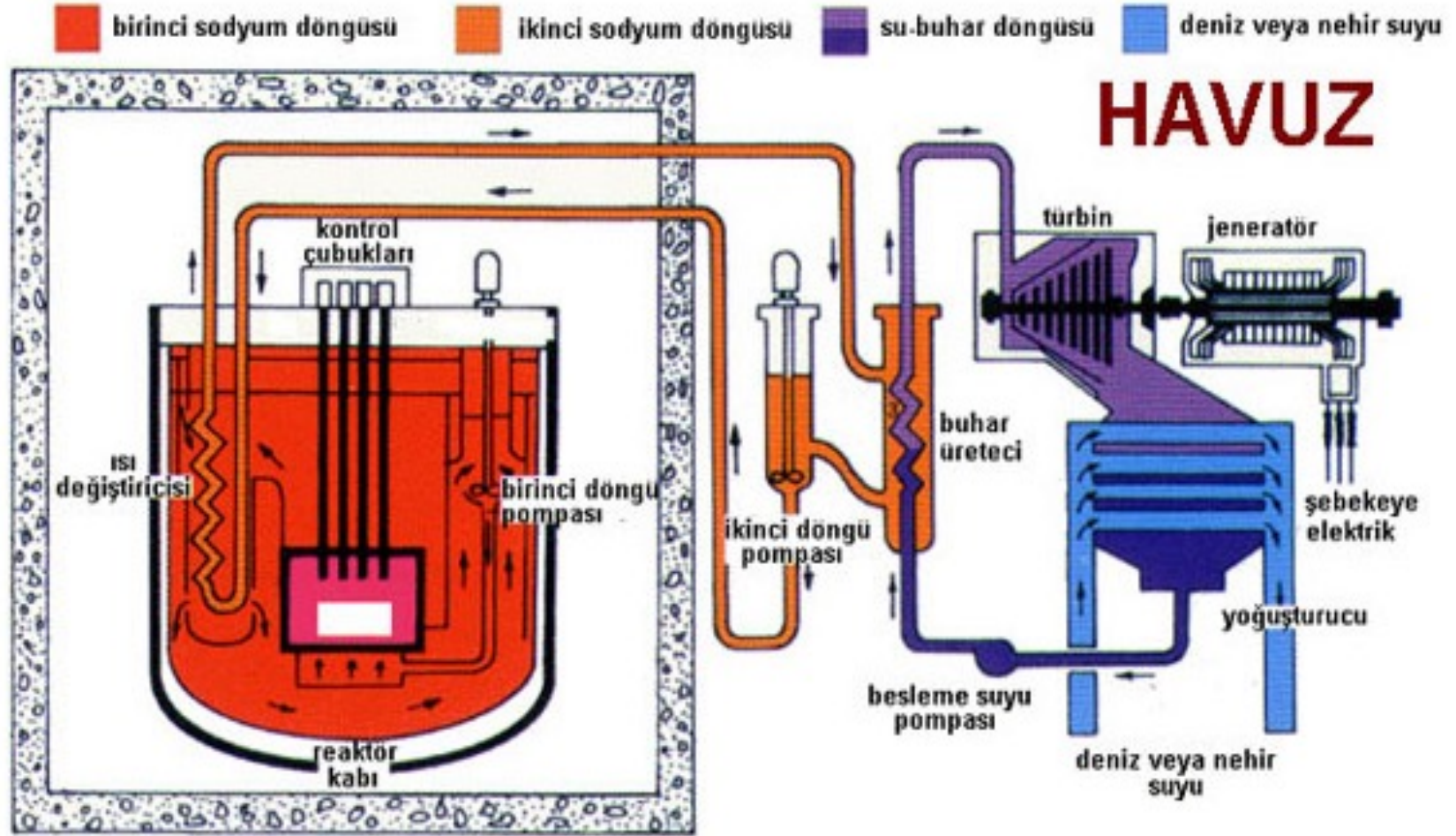
RBMK

- RBMK teknolojisi eski Sovyetler Birliğinde tasarlanmış bir kaynar su reaktörüdür.
- Fakat BWR'lerin aksine RBMK **basınç kabına** sahip değildir.
- Bunun yerine CANDU reaktörüne benzer şekilde yakıt demetleri ayrı basınç tüplerinin içerisine yerleştirilmiştir.
- Bu sayede reaktöre sürekli yakıt yüklemesi ve çıkarması yapılabilmektedir.
- Ayrıca gene BWR'lerden farklı şekilde reaktörde nötron yavaşlatıcı olarak su yerine grafit kullanılmaktadır.
- Sonuç olarak RBMK ebatları BWR'lere göre daha büyüktür.

FBR(Fast Briden Reaktor)-Hızlı Üretken Reaktör



Havuz Tipi FBR



FBR

İlk hızlı reaktör ABD'de New Mexico eyaletinde 1946 yılında işletmeye alınan 25 kW gücünde **Pu yakıtlı ve Hg soğutuculu bir reaktördür.**

1951 yılında 1,3 MW gücünde Na ve K karışımı soğutuculu üretken reaktör ABD'nin Idaho eyaletinde işletmeye alınmıştır.

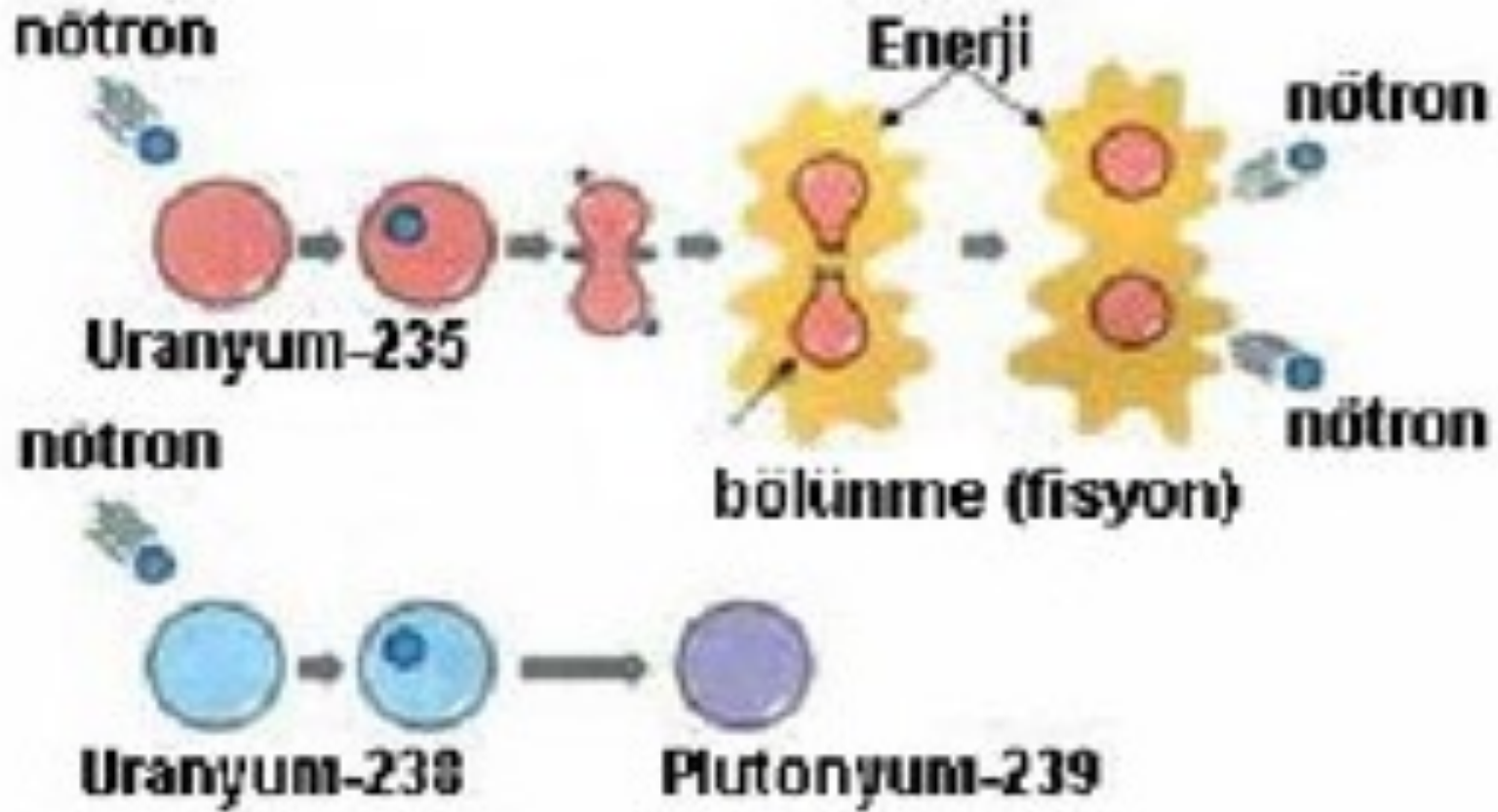
“EBR-I” adında bu deneysel reaktör ikinci çevriminde üretilen buharla türbini çevirerek 200 kW elektrik üretmiştir.

Dünyada ABD, Fransa ve Rusya Federasyonu gibi birçok ülkede hızlı reaktörler işletme halindedir.

FBR'de Yakıt

- LMFBR **U-Pu yakıt çevrimiyle çalışır**. Reaktör kalbine fisil Pu yüklenirken reaktör battaniyesine doğal veya seyreltilmiş U yüklenir.
- Doğal Uranyum, %99.3 U-238 ve %0.7 U-235 izotoplarından oluşmaktadır. Normal bir termal reaktörde yalnızca U-235 kullanılabilir. U-238'de nötron yutarak Pu-239'a dönüşmektedir.
- Hızlı nötronlar için Pu'nun "η" değeri enerjiyle doğru orantılı olarak arttığından FBR'de nötronların **yavaşlamaması** gerekir.
- Bu sebeple **nötron yavaşlatıcı kullanılmamakta** olup reaktör kalbinde sadece yakıt ve soğutucu bulunur.
- Na nötronları yavaşlatmadığı ve ısı transferi özelliği iyi olduğu için soğutucu olarak kullanılmaktadır
- Aynı zamanda Na'un 1 atmosfer basınçta 882°C yüksek kaynama sıcaklığı olduğundan reaktör atmosferik basınçta kaynama olmadan ve **basınç kabı gerektirmeden** işletilebilir.

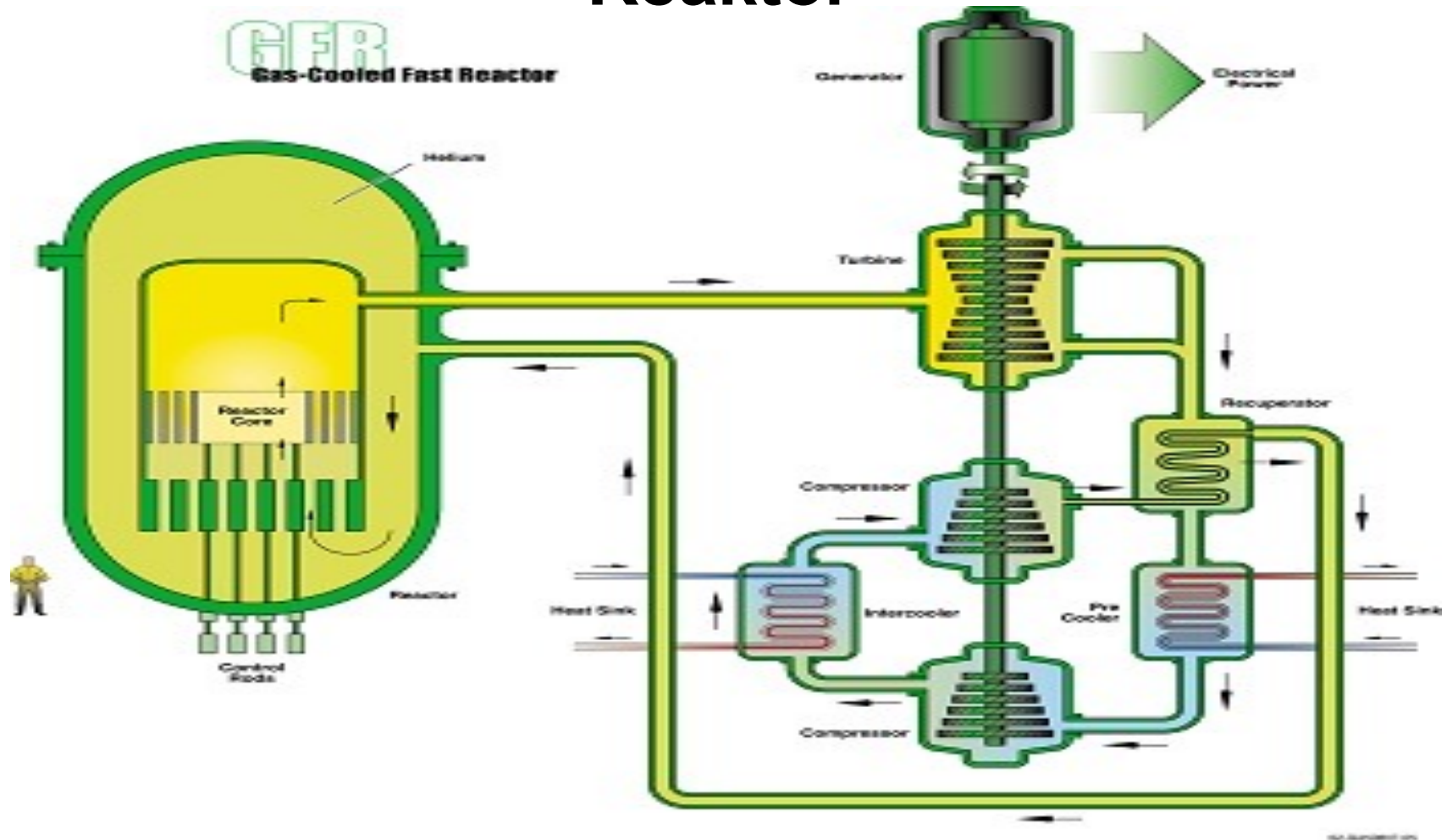
FBR'de Yakıt Döngüsü



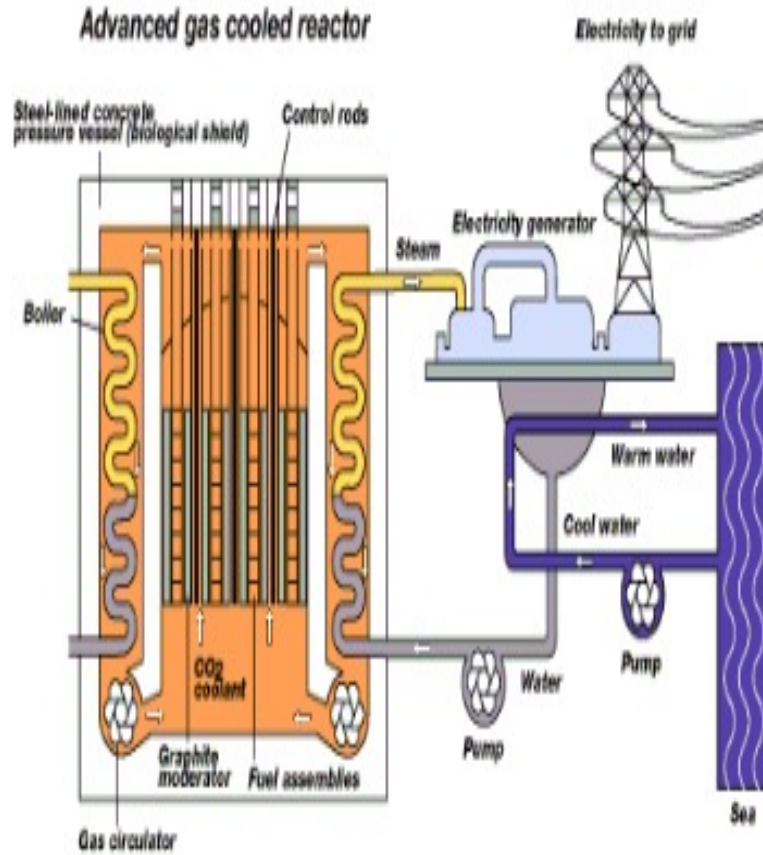
FBR'de Soğutucu

- **Soğutucu:** Su yerine , sıvı metaller arasından Civa, Kurşun, Sodyum ve Sodyum-Potasyum karışımı düşünülmüşse de herbirinin farklı mahzur ve dezavantajı nedeni ile şimdilik **Sodyumda** karar kılınmıştır.
- Havuz ve Döngü tipleri soğutucunun ve ısı dönüştürücünün yerleri konusunda tasarımda farklılık göstermektedir.

HTGCR(High Temperature Gas Cooled Reactor)-Yüksek Sıcaklık Gaz Soğutmalı Reaktör



AGCR



AGCR Termal REAKTÖRDÜR.

Yakıt :Doğal UO₂

Soğutucu:Gaz CO₂ veya He

Moderatör:Grafit veya Berilyum

Verim:%40-50

Avantajı:

Doğal uranyum dahil herhangi bir yakıt kullanılabilir.PuO₂ gibi.

Soğutucusu ucuzdur.Sistem

elemanları ile çok az etkileşir ve

aşındırır.Türbin olarak gaz türbinide kullanılabilir.

Dezavantajı:

Reaktör kalbi büyük ve pahalıdır.

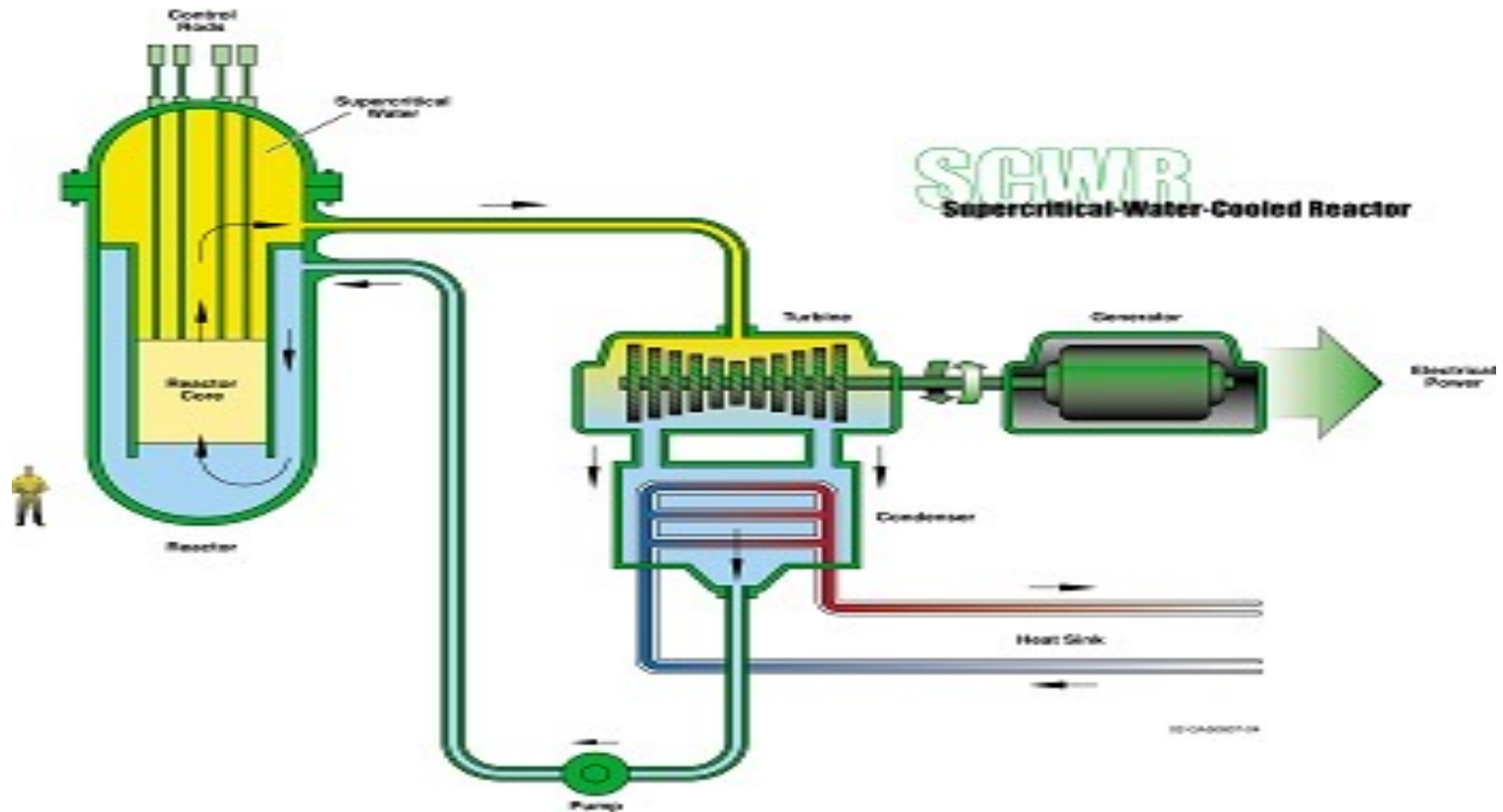
Düşük yakıt yanma oranları vardır.

Grafit moderatör yanıcı bir maddedir.

GCFR

- GCFR teknolojisinin temelinde HTGR bulunur.
- Reaktör kalbi FBR'ye benzemekle birlikte paslanmaz çelik yakıt zarfları içerisinde UO_2 ve PuO_2 peletler şeklinde yakıt bulunur.
- He soğutucu reaktör kalbine 10,5 MPa basınçta 298°C sıcaklıkta alttan girer ve reaktör kalbinin üstünden 520 °C'de çıkar.
- Isınan gaz FBR'nin aksine bir ara eşanjör gerektirmeden doğrudan buhar jeneratörüne taşınır.
- Ana devir daim motorları dışında bütün ekipmanlar ön gerilimli beton reaktör kabında bulunur.
- Buhar jeneratörleri 10,5 MPa basınçta 485 °C sıcaklıkta kızgın buhar üretir.

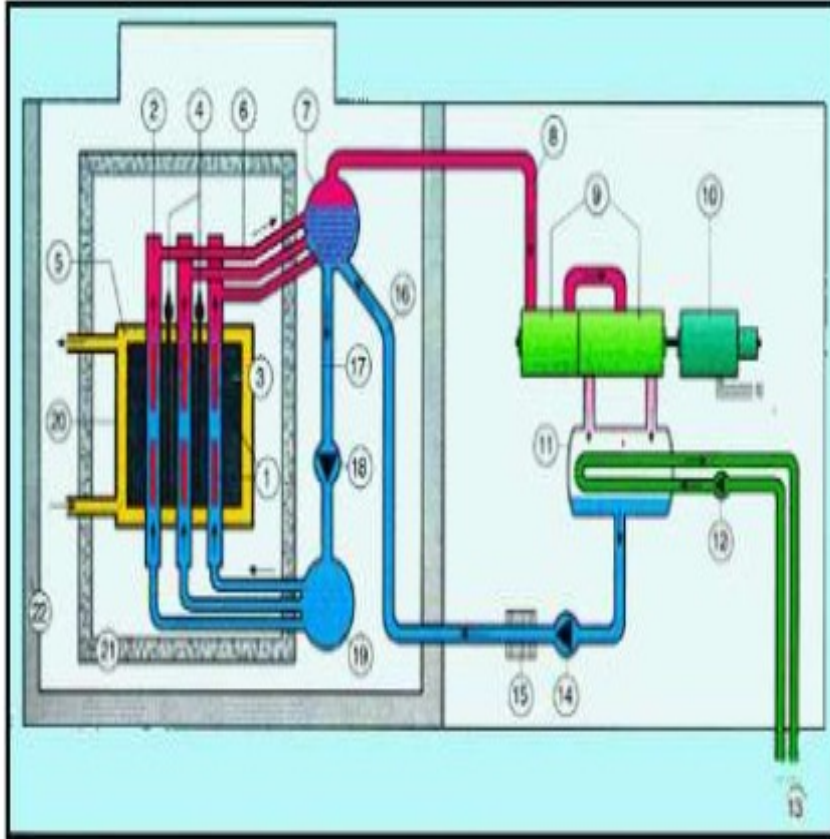
SCWR(Süper Critic Water Reaktor)-Süper Kritik Su Reaktörü



SCWR

- Günümüzün PWR teknolojisinden geliştirilen SCWR suyun termodinamik kritiklik noktası olan 25 MPa basınçta 510-550 °C sıcaklıkta çalışır (The Generation IV International Forum 2015).
- NSSS'de süper kritik suyla türbin doğrudan çevrilerek **buhar jeneratörüne** ihtiyaç duyulmaz.
- Reaktör kalbinin tasarımına göre termal veya hızlı nötron spektrumunda çalıştırılabilir.
- PWR ile karşılaştırıldığında SCWR'nin sadeleştirilmiş yapısının getirdiği avantajın yanı sıra reaktör %44 veya üzerinde termal verimlilikte çalıştırılabilir.

LWGR (Low Water Grapit Reaktor) Hafif Su Soğutmalı Grafrit Yavaşlatıcılı Reaktör



LWGR Termal Reaktördür.

Yakıt:Doğal UO₂

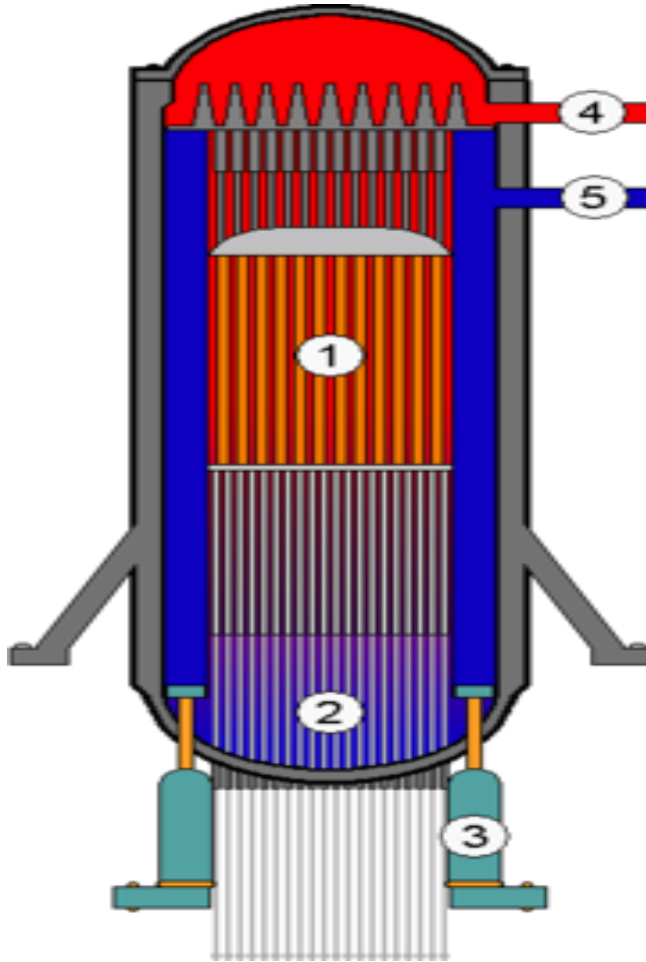
Soğutucu:Su

Moderatör:Grafittir.

Çalışırken yakıt yüklenebilir.

Kalp içinde soğutucu kaynar

ileri Tasarım Reaktörlerden ABWR(Advanced Boiling Water Reaktor)-Gelişmiş Kaynar Su Reaktörü



ABWR'den basınçlı kap veya reaktör

1: Reaktör çekirdeği

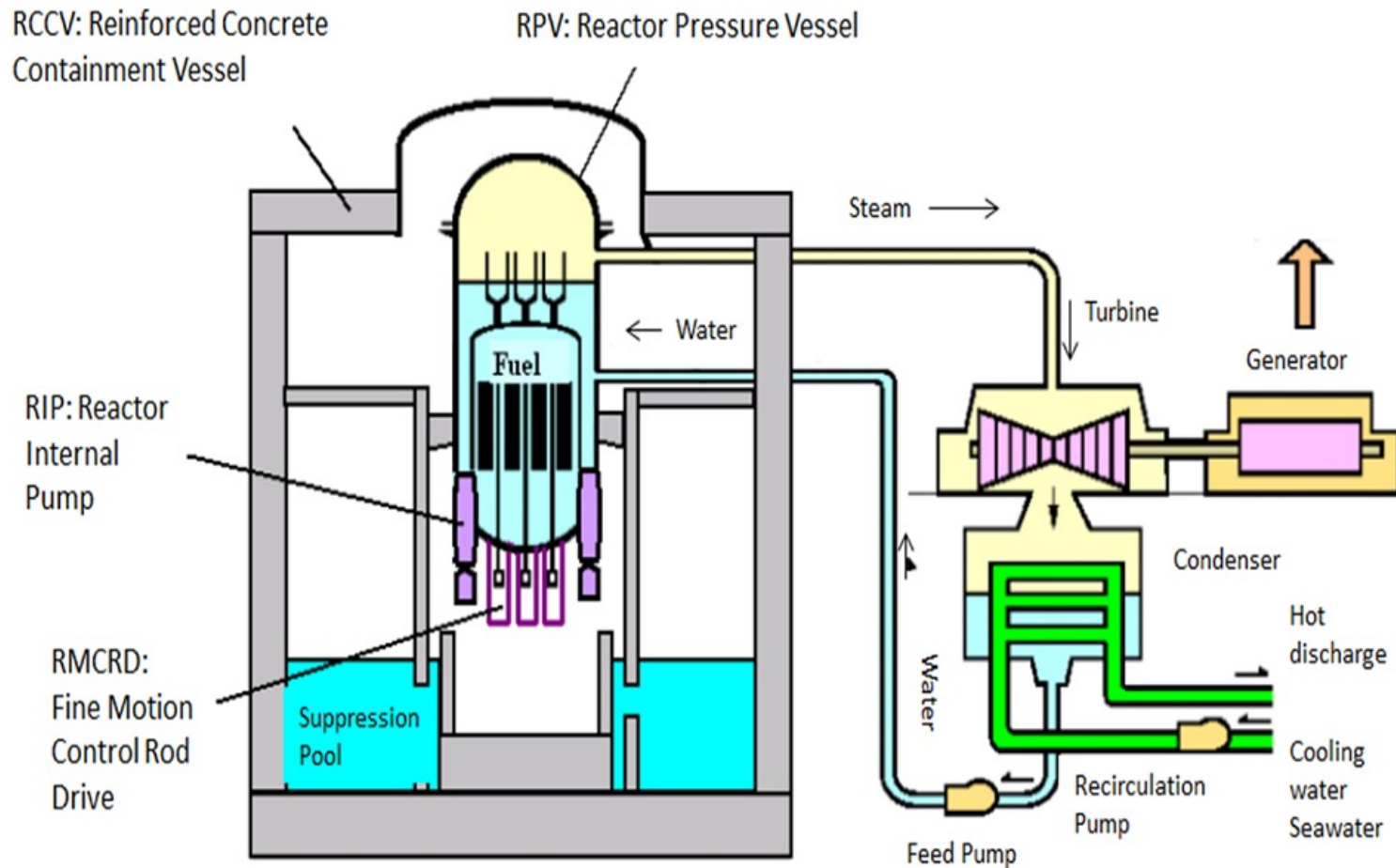
2: Kontrol çubukları

3: Dahili Su Pompası

4: Türbin jeneratörüne giden buhar boru hattı

5: Çekirdeğe soğutma suyu akışı

ABWR (GE-Hitachi Tasarımı)



ABWR(Advanced Water Boiling Reactor)-Tek Çevrimli Zorlamalı Soğutma Sistemli Kaynamalı Su Reaktörü

- ABWR şu anda [GE Hitachi Nuclear Energy](#) (GEH) ve Toshiba tarafından üretilmektedir.

ABWR, bir jeneratöre bağlı bir türbine güç sağlamak için buhar kullanarak elektrik enerjisi üretir;

Basınç kabı içine soğutucu çevrim pompaları konulmuştur.

Geliştirilmiş bir kontrol çubuğu sistemi vardır.

Dijital güvenlik sistemlerine sahiptir.

Mikro kontrolör tabanlı dijital kontrol ve lojik sistemlere sahiptir.

Bu buhar, nükleer yakıt içindeki fisyon reaksiyonları tarafından üretilen ısı kullanılarak sağlanır.

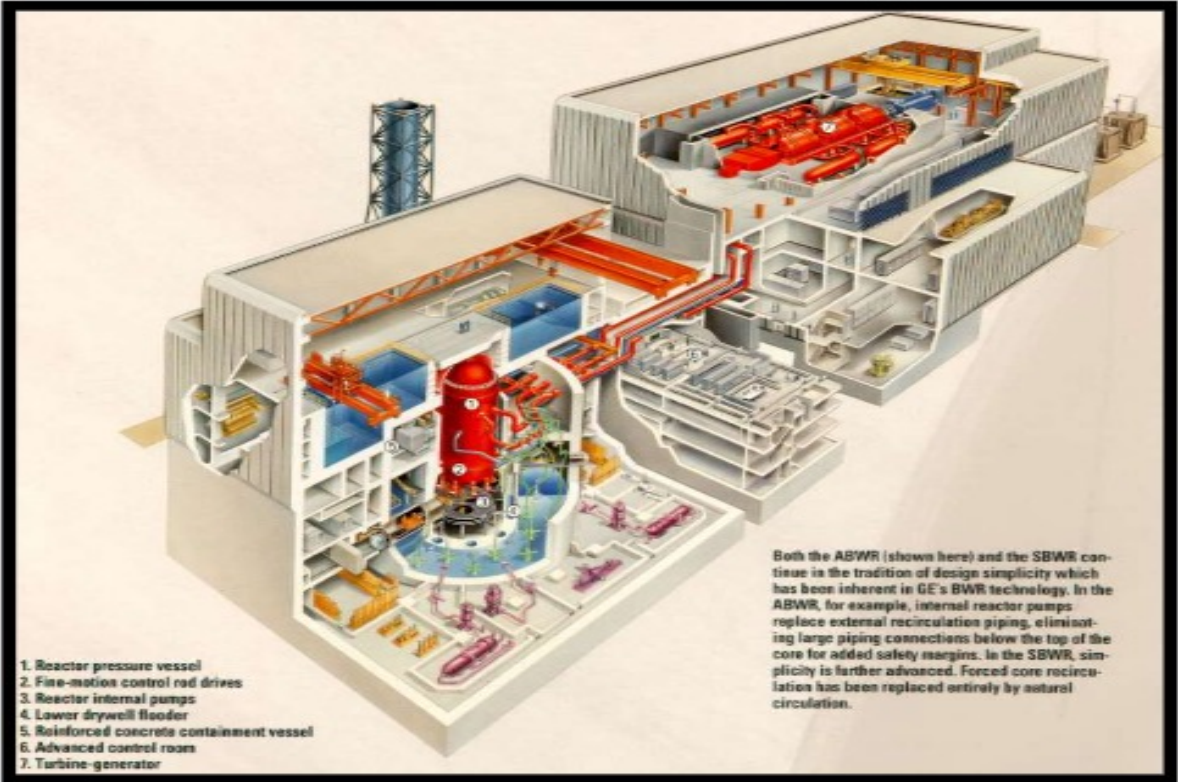
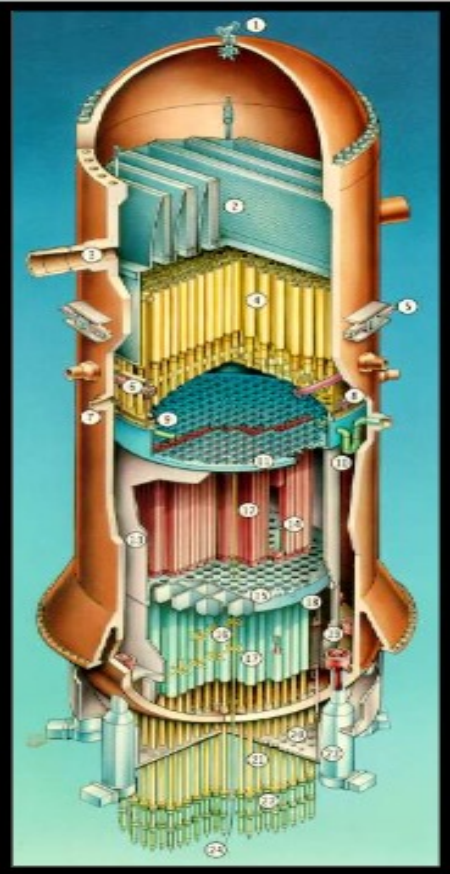
ABWR'ler doğrudan çevrimli reaktörler olarak bilinir, yani reaktör içinde üretilen buharı doğrudan türbine geçirerek çalışırlar.

[Kashiwazaki-Kariwa ünite 6](#) , dünyadaki ilk Nesil III Kaynar Su reaktörü olarak kabul edilir.

ABWR

ABWR

www.tr-2.org



- 1. Reactor pressure vessel
- 2. Fine-motion control rod drives
- 3. Reactor internal pumps
- 4. Lower drywell floor
- 5. Reinforced concrete containment vessel
- 6. Advanced control rooms
- 7. Turbine-generator

Both the ABWR (shown here) and the SBWR continue in the tradition of design simplicity which has been inherent in GE's BWR technology. In the ABWR, for example, internal reactor pumps replace external recirculation piping, eliminating large piping connections below the top of the core for added safety margins. In the SBWR, simplicity is further advanced. Forced core recirculation has been replaced entirely by natural circulation.

System 80+(Basınçlı İleri Su Reaktörü) Nükleer Bomba üretimi için stoklanmış MOX çalışıyor

- System 80 ; Bir Basınçlı bir su Reaktörüdür.Sondaki + işareti güncelenmiş modelidir.
- 1993'teki Sistem 80+ , reaktör tasarımı tam bir MOX plütonyum envanterini (**MOX** plütonyum ve Uranyum oksitin karışımından oluşturulan ve Fransa, Belçika, Almanya, İsviçre'deki **nükleer** reaktörlerde kullanılan bir yakıt) işleyebildiğinden , **Amerikan Nükleer Derneği** üyeleri tarafından silah sınıfı plütonyumun "birinci" brülörü olarak kabul edildi .
- Soğuk Savaş sona erdikten sonra, 100 ton fazla silah sınıfı plütonyum mevcuttu ve Sistem 80+, onu tipik bomba tasarımlarında kullanılmayacak şekilde "denatüre etmek" için mevcut en iyi yol olarak değerlendirildi,
- 1300 MWe gücünde güvenlik sistemleri geliştirilmiş ileri bir basınçlı su reaktörüdür.

AP-1000 Reaktörü(TENMAK'tan verilen bilgiye göre)

- Dünyada, inşa halindeki 10 adet VVER tipi reaktörlerden 4'ü VVER-1200 tipi reaktörlerdir.
- VVER-1200 gibi 3. nesil olarak nitelendirilen başka reaktör tipleri de bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak Güney Kore tasarımı APR1400, Fransız tasarımı EPR ve ABD tasarımı AP1000 verilebilir.
- Bu reaktörlerin hiç birinin işletme halinde bulunan bir örneği bulunmamaktadır.
- Bununla birlikte 2 ünite APR1400 Güney Kore'de, 1'er ünite EPR Finlandiya ve Fransa'da,

Referans

- Burada yapılan GELENEKSEL REAKTÖRLER sunumu ; büyük ölçüde ETKB'da Bakanlık Toryum Strateji Koordinatörü olarak görev yaptığım dönemde, NEPUD'da Enerji Uzman Yard. olarak görev yapan ;
- Nükleer Müh.GÖRKEM GÜNGÖR'e ;
2016 yılında atanmış resmi tez Danışmanlığımda yaptırılan ve kabul edilen “ETKB’ği Uzmanlık Tezi “ verilerine dayanmaktadır.

- Yüzyüze Konferanslarda görüşmek dileği ile en derin saygılarımla.