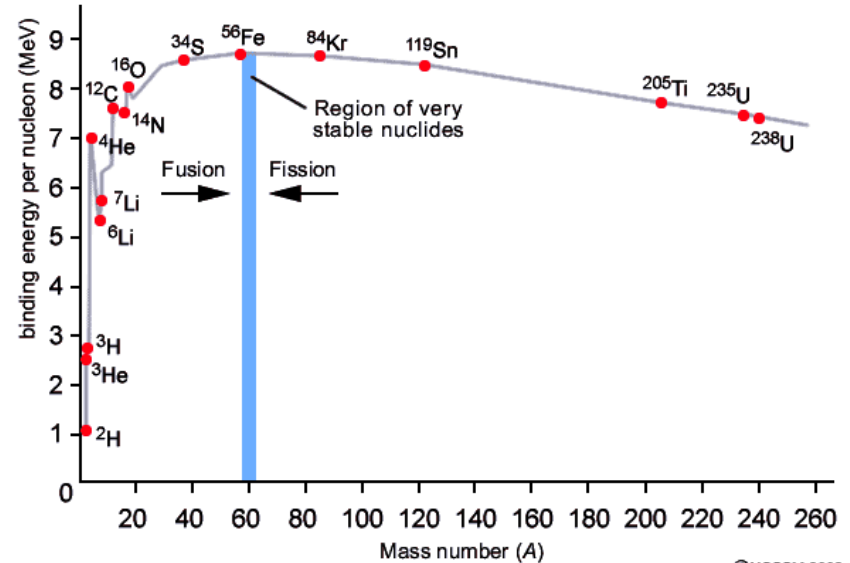


# Kärnkraft

- Summan av fria nukleoners energiinnehåll är större än atomkärnors energiinnehåll, ifall fria nukleoner sammanfogas till atomkärnor frigörs energi (bildningsenergi även kallad kärnenergi).
- Energin fås från förlust av massa
- Den frigjorda energin kan beräknas med  $E=\Delta mc^2$ , där  $\Delta m$  anger den förlorade massan
- $\Delta m=Z*m_p + N*m_n - m$ , där  $Z, N$  = antalet protoner respektive neutroner,  $m_p, m_n$  = protoners respektive neutroners massa och  $m$  = den bildade atomkärnans massa)
- Bildningsenergin anges ofta per nukleon
- Energi kan frigöras både genom att klyva tunga atomkärnor ( fission) eller genom att slå ihop lätta atomkärnor (fusion)
- Dagens kärnkraft bygger på klyvning av uranisotopen  $^{235}\text{U}$  (bortsett MOX bränslen)



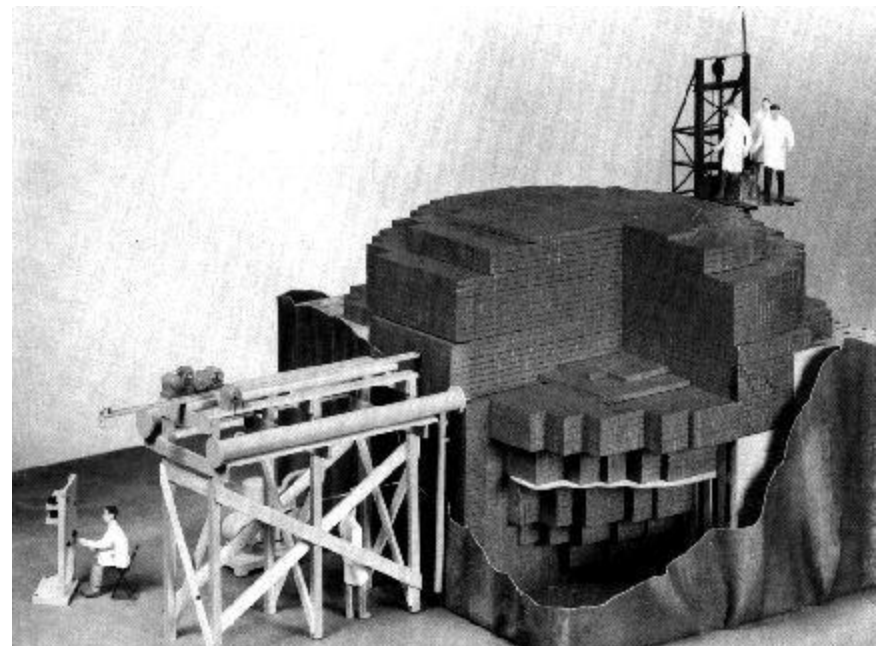
©NCSSM 2002

<http://www.fysik.org/website/fragelada/index.asp?keyword=bindningsenergi>

# Historiskt viktiga upptäckter

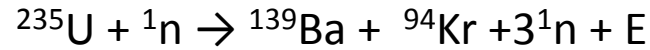
- James Chadwick upptäckte neutronen 1932, fick nobel pris i fysik 1935
- Otto Hahn och Lise Meitner upptäcker kärnklyvning vilket leder till att Otto Hahn får nobelpriset i fysik 1944.
- Enrico Fermis och Leó Szilárds grafit reaktor CP-1 bevisar att det är möjligt att åstadkomma en kedjereaktion med natururan som bränsle och grafit som moderator.

[http://www.hcc.mnscu.edu/chem/abomb/page\\_id\\_31406.html](http://www.hcc.mnscu.edu/chem/abomb/page_id_31406.html)

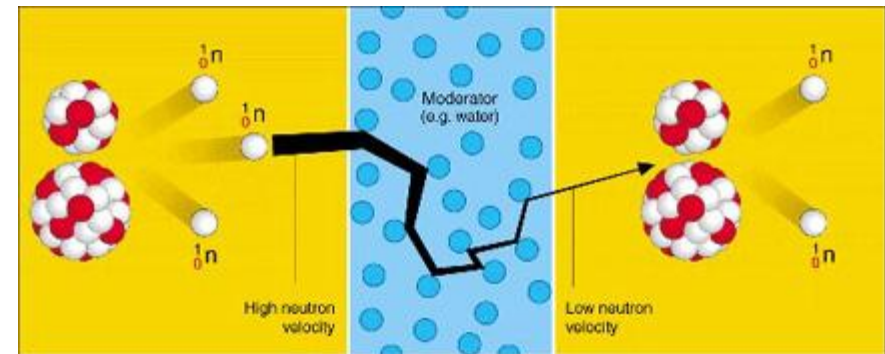
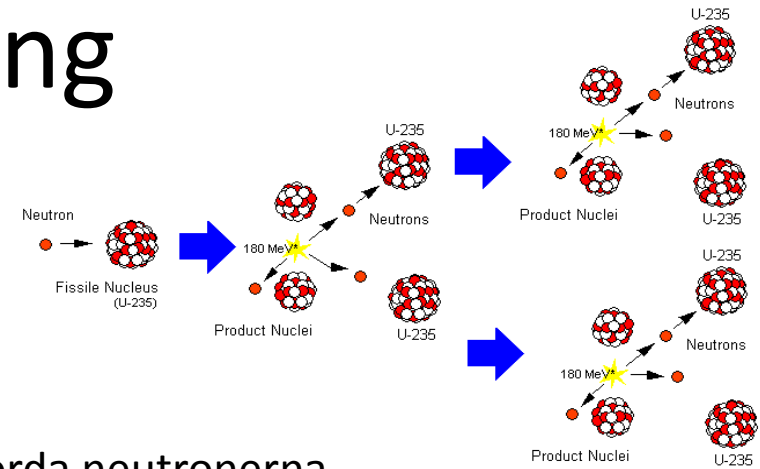


# Uran klyvning

- Uran kan klyvas genom t.ex. dessa reaktioner:

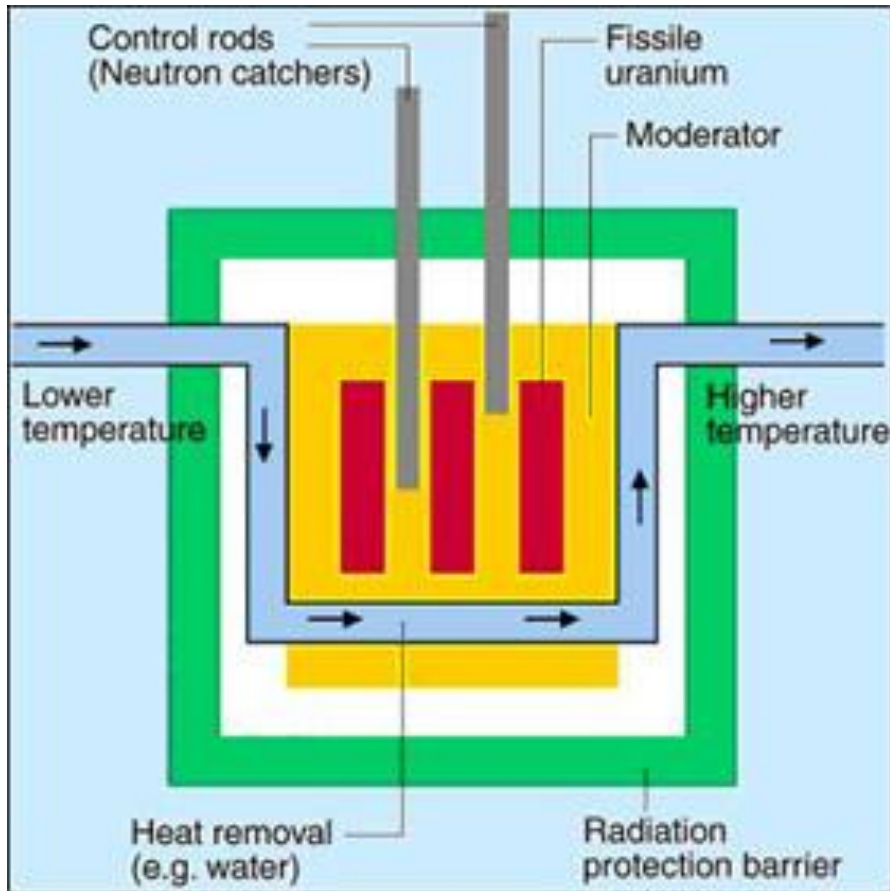


- Båda reaktionerna frigör energi
- Neutronerna som frigörs är snabba neutroner. Frigjorda neutronerna kan antingen orsaka nya klyvningar, infångas av andra kärnor t.ex.  ${}^{238}\text{U}$  eller smita ut ur systemet.
- För att öka förhållandet nya klyvningar per frigjord neutron så måste neutronernas hastighet minskas dvs. modereras.
- Neutronerna bromsas in genom kollisioner med moderatorns atomkärnor
- Moderator materialet skall absorbera så få neutroner som möjligt, därför är tungt vatten effektivare moderator än vanligt vatten.
- Reaktionen sägs vara kritisk ifall en av de frigjorda neutronerna orsakar en ny klyvning



<http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/m/moderator.htm>

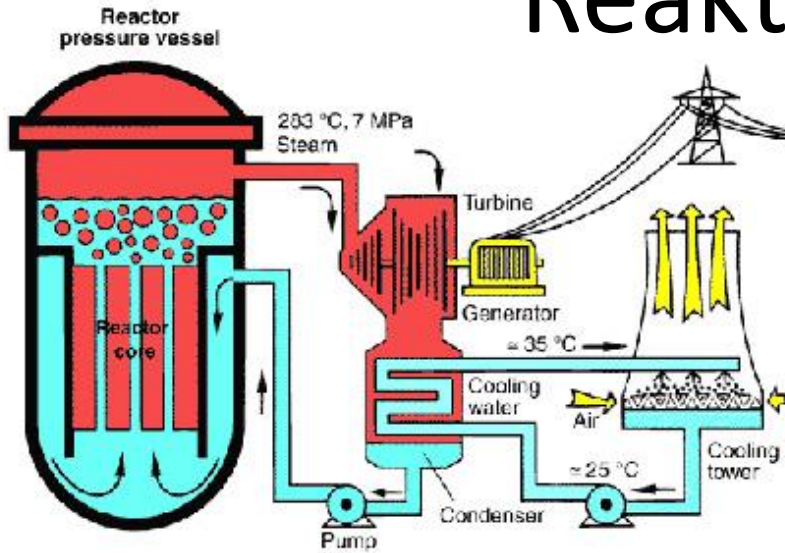
# Kärnreaktor



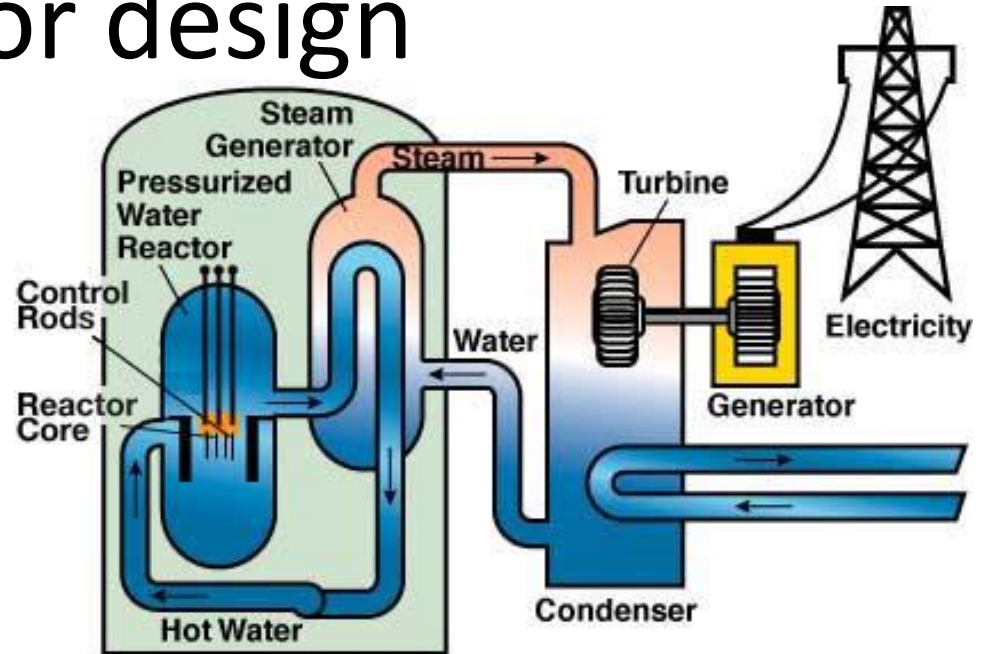
- Energin som frigörs upptas av kylvattnet.
- Reaktionen styrs av kontrollstavar som består av neutron absorberande material t.ex. kadmium.

Funktions princip för en kärnreaktor.  
[http://www.daviddarling.info/encyclopedia/N/nuclear\\_reactor.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/N/nuclear_reactor.html)

# Reaktor design



<http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/boilingwaterreactor.htm>



**Containment Structure**

[http://www.oncor.com/community/knowledgecollege/energy\\_library/generating/generating07.aspx](http://www.oncor.com/community/knowledgecollege/energy_library/generating/generating07.aspx)

## Kokvatten reaktor

- Lättvatten moderator
- Kylvattnet körs normalt vid ca 75 bars tryck så att det kokar vid ca 275 °C
- Näst vanligaste reaktor typen
- Normalt under 1000 MWe( t.ex Olkiluoto1 860 MWe)
- Billigare ty enklare konstruktion, dock dyrare underhållskostnader

## Tryckvatten reaktor

- Lätt/tungvatten moderator
- Högt tryck ca 155 bar, temperatur ca 315°C
- Kräver mycket pump effekt
- Vanligaste reaktor typen
- Normalt ca 1000 MWe (t.ex Olkiluoto3 1650 MWe)

# EPR European Pressurized Reactor

- Tredje generationens reaktor
- Framtagen av Franska Framatome och Tyska Siemens AG
- Termisk effekt på 4500 MWt samt el effekt på 1650 Mwe
- Olkiluoto 3 är av denna typ
- Bränsle 5% anrikad uran, upparbetad uran eller MOX
- Säkerheten skall garanteras genom
  - 4 oberoende kylsystem
  - Dubbla inneslutningar vilket skall förhindra läckage även vid en härdsvälta
  - Två lager betongvägg med en total tjocklek på 2,6m som skall tåla båda över tryck inne i reaktor byggnaden samt att ett flygplan kör in i byggnaden

# Moderator ämne

## Tungvatten

- Effektiv moderator därför kan natururan användas som bränsle
- Negativ ångkoefficient
- Dyrt jämfört med lätt vatten( vanligt vatten)

## Lättvatten

- Inte lika effektiv moderator som tungvatten därför måste bränslet vara anrikat
- Negativ ångkoefficient
- Billigt

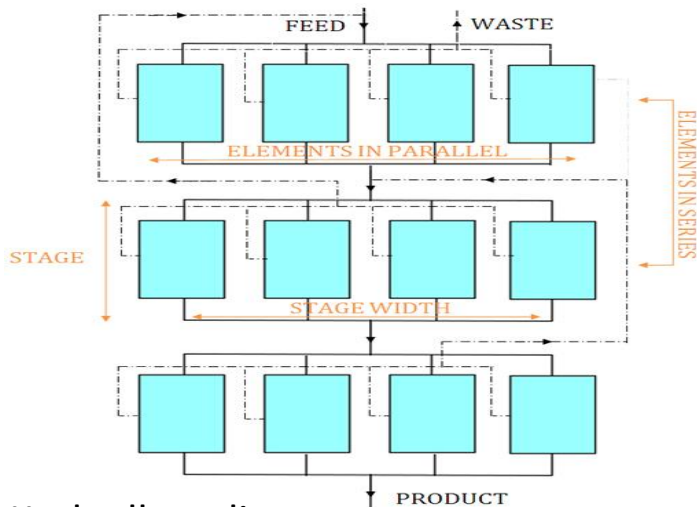
## Grafit

- Effektiv moderator
- Medför tyvärr positiv ångkoefficient



# Uran framställning

- Uran förekommer i jordskorpan som uranoxid (till största delen  $U_3O_8$ ) och består främst av isotoperna  $^{235}_{92}U$  (0,7%) och  $^{238}_{92}U$  (99,3%)
- Uranmalmen krossas och lakas med svavelsyra
- Uranet kan utvinnas ur lakningsvätskan genom flera extraktions steg och torkas sen till "yellowcake"
- För att anrika uranet utnyttjas viktskillanden mellan  $^{235}_{92}U$  och  $^{238}_{92}U$
- Uranet överförs till uranhexafluorid  $UF_6$ , fluor används eftersom det endast förekommer som  $^{19}F$
- För själva separeringen av  $^{235}_{92}U$  och  $^{238}_{92}U$  kan man använda gas diffusion eller centrifugering. I båda fallen behövs många kaskadkopplade steg
- Efter anrikningen oxideras uranhexafluoriden till  $UO_2$  eller till  $UC_3$



Kaskadkoppling



Kaskadkopplade centrifuger

Bilderna tagna från Den kluvna atomkärnan av J. Ahlbeck



# Uranproduktion

Country	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Kazakhstan	3300	3719	4357	5279	6637	8521	14020	17803
Canada	10457	11597	11628	9862	9476	9000	10173	9783
Australia	7572	8982	9516	7593	8611	8430	7982	5900
Namibia	2036	3038	3147	3067	2879	4366	4626	4496
Niger	3143	3282	3093	3434	3153	3032	3243	4198
Russia	3150	3200	3431	3262	3413	3521	3564	3562
Uzbekistan	1598	2016	2300	2260	2320	2338	2429	2400
USA	779	878	1039	1672	1654	1430	1453	1660
Ukraine (est)	800	800	800	800	846	800	840	850
China (est)	750	750	750	750	712	769	750	827
Malawi						104	670	
South Africa	758	755	674	534	539	655	563	583
India (est)	230	230	230	177	270	271	290	400
Czech Repub.	452	412	408	359	306	263	258	254
Brazil	310	300	110	190	299	330	345	148
Romania (est)	90	90	90	90	77	77	75	77
Pakistan (est)	45	45	45	45	45	45	50	45
France	0	7	7	5	4	5	8	7
Germany	104	77	94	65	41	0	0	0
total world	35 574	40 178	41 719	39 444	41 282	43 853	50 772	53 663
tonnes U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	41 944	47 382	49 199	46 516	48 683	51 716	59 875	63 285
percentage of world demand			65%	63%	64%	68%	78%	78%

Taget från : <http://www.world-nuclear.org/info/inf23.html>

Talvivaara i Finland har planerat att sälja 350 ton U<sub>3</sub>O<sub>6</sub> årligen, detta fås dock som en biprodukt från deras zink och nickel produktion.

# Utvecklingsmöjligheter för kärnkraften

- Fusion
- Breeder reaktorer

Tanken med dessa är att de ska producera mera klyvbart material än de förbrukar.

T.ex. genom att omvandla den icke klyvbara uran isotopen  $^{238}_{92}\text{U}$  till det klyvbara

$^{239}_{94}\text{Pu}$  enligt:  $^{238}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} = ^{239}_{93}\text{Np} + ^0_{-1}\text{e} = ^{239}_{94}\text{Pu} + ^0_{-1}\text{e}$

Alternativt kan också torium användas

# Världens energiproduktion

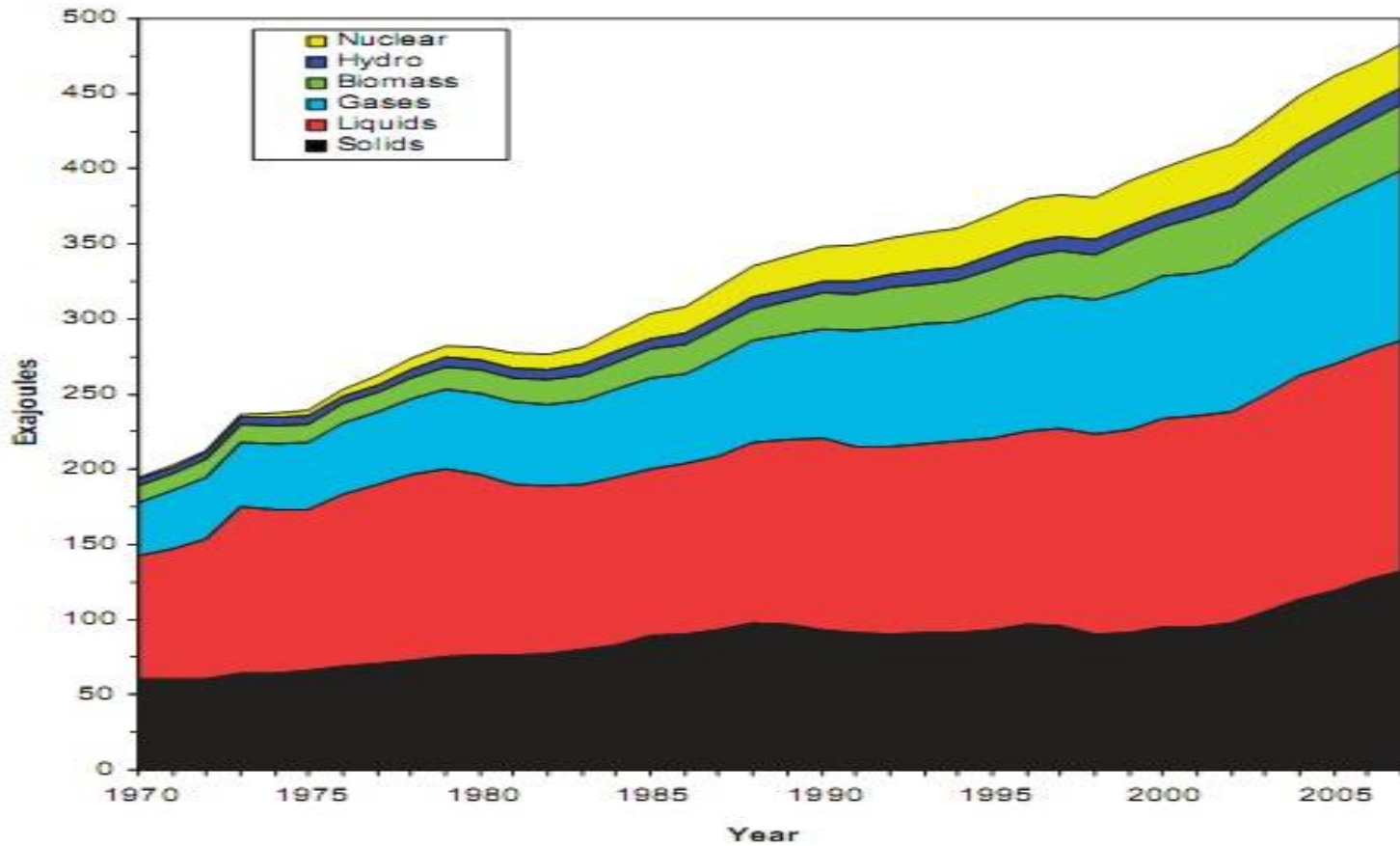


FIG. B-1. Share of energy sources in world total energy production, 1970–2007.

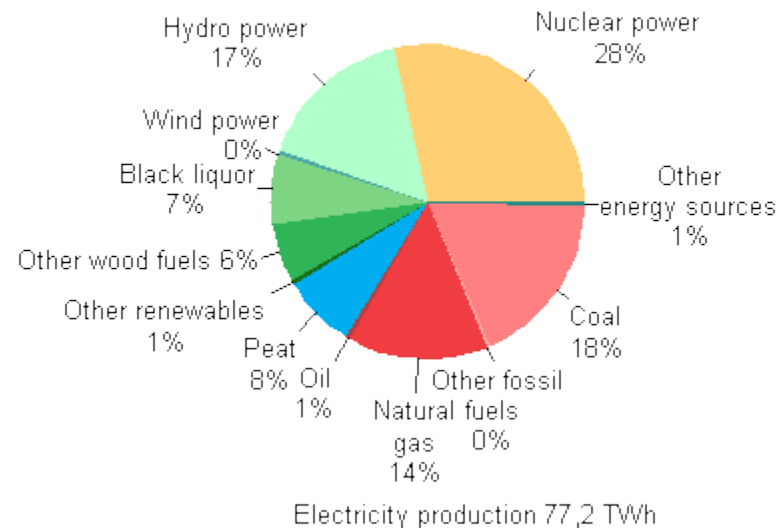
# Total energiproduktion per region i världen

Region	Thermal (a)		Hydro		Nuclear		Renewables (b)		Total	
	Use (EJ)	%	Use (EJ)	%	Use (EJ)	%	Use (EJ)	%	Use (EJ)	%
North America	22.21	65.71	2.43	14.53	9.61	18.99	0.63	0.77	34.87	100
Latin America	4.42	38.28	2.46	58.31	0.33	2.61	0.32	0.81	7.54	100
Western Europe	15.56	52.32	1.72	15.86	9.56	29.14	0.53	2.68	27.37	100
Eastern Europe	17.36	64.95	1.12	17.21	3.51	17.80	0.02	0.05	22.01	100
Africa	4.89	80.01	0.35	17.74	0.11	1.84	0.04	0.41	5.4	100
Middle East and South Asia	14.42	82.42	0.64	15.51	0.20	1.57	0.02	0.50	15.28	100
Southeast Asia and the Pacific	5.81	88.17	0.26	10.73			0.21	1.10	6.28	100
Far East	32.61	75.65	2.04	12.50	5.70	11.52	0.47	0.33	40.83	100
World total	117.27	66.46	11.02	17.46	29.03	15.18	2.26	0.89	159.83	100

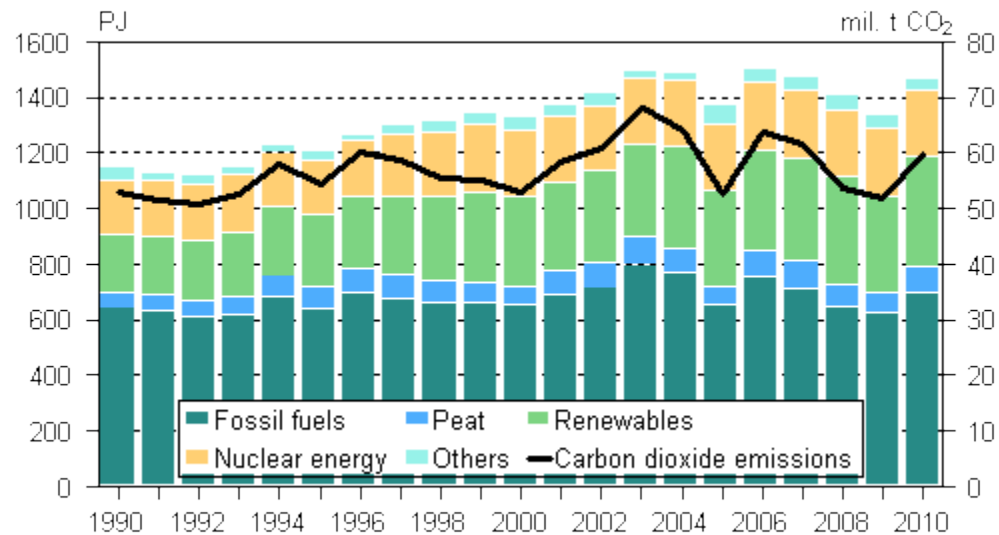
(a) The column headed 'Thermal' is the total for solids, liquids, gases, biomass and waste.  
(b) The column headed 'Renewables' includes geothermal, wind, solar and tide energy.

<sup>3</sup> There are no nuclear power plants in the Southeast Asia and Pacific region, so nuclear accounts for no electricity generation there.

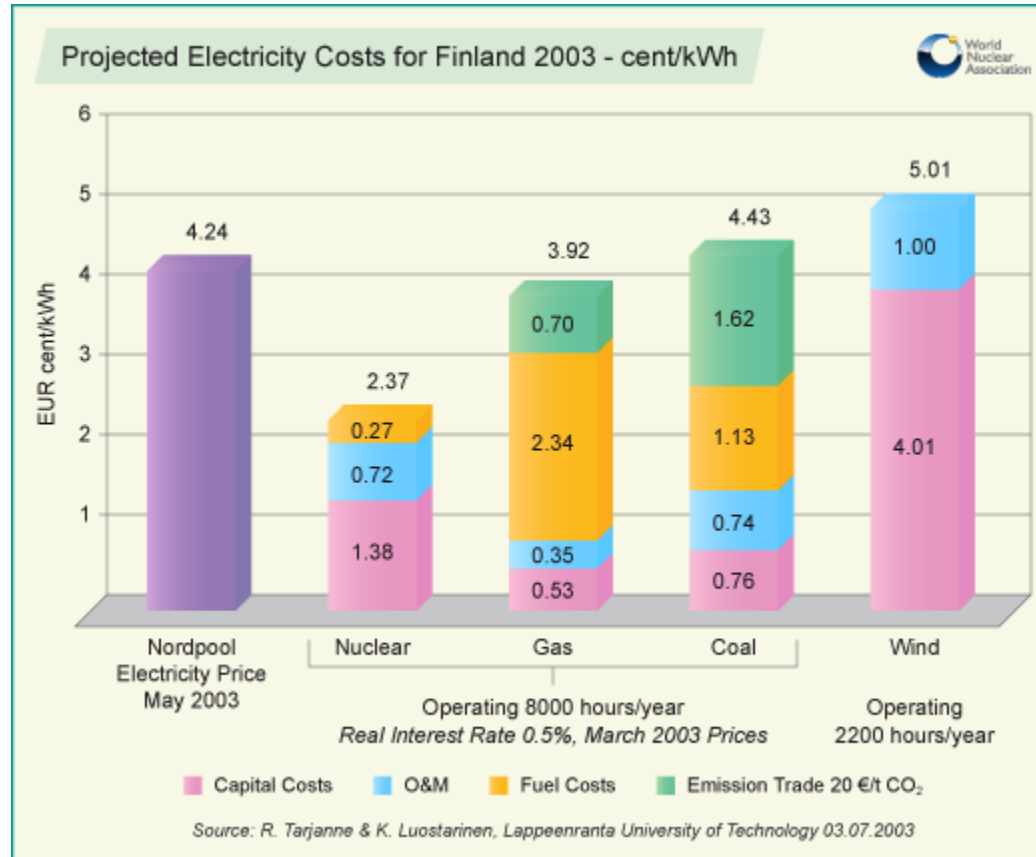
# Elektricitetsproduktion i Finland 2010



# Produktion av energi i Finland 1990-2010

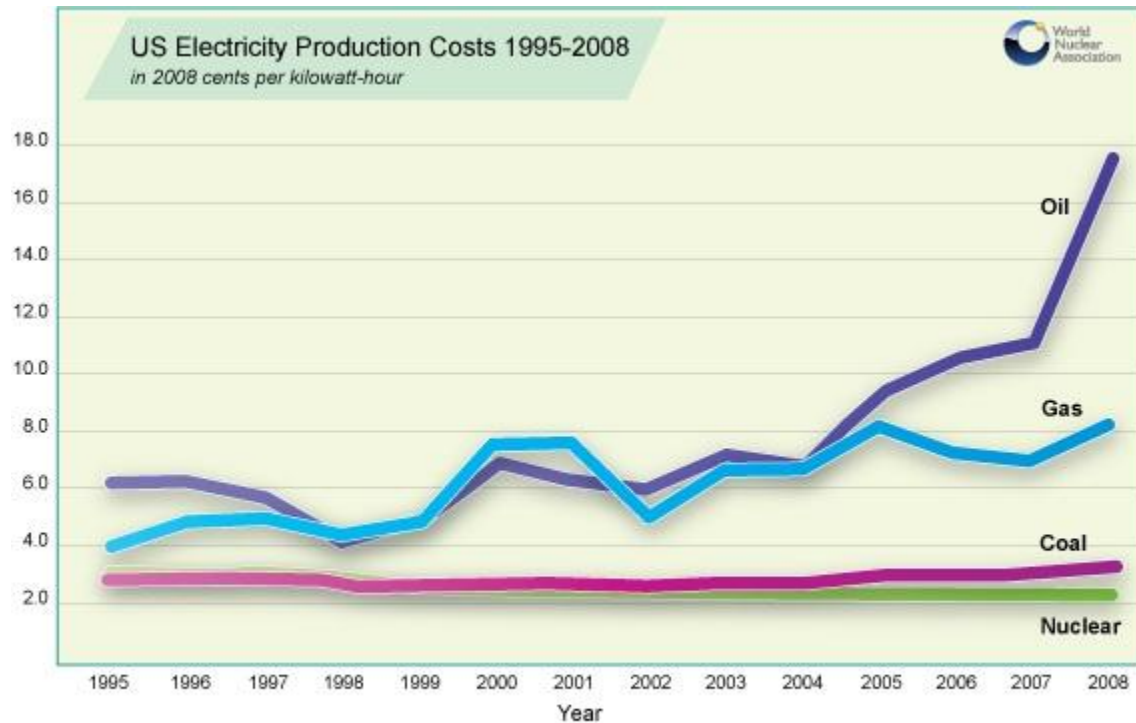


# Kostnader för produktion av elektricitet (cent/kWh)





# Utveckling av produktionskostnader som funktion av tiden



*Production Costs = Operations & Maintenance + Fuel. Production costs do not include indirect costs or capital.*

**Source:** Ventyx Velocity Suite, via NEI

# Investeringskostnader för kärnkraft

- Fennovoimas kärnkraftverk i Pyhäjoki
  - 6 miljarder €
    - Maxeffekt 1800 MW
  - 35000 personår i konstruktion
  - Livscykel på 100 år
- Olkiluoto 3
  - 3 miljarder € (budgeterat)
    - 1600 MW
  - 100 - 150 arbetsplatser på kraftverket vid drift
    - 1000 arbeten utöver dessa

# Risker och problem

- Säkerhet i kraftverken
  - Tjernobyli
    - Mänskliga faktorer (testkörning)
  - Harrisburg
    - Feltolkning av tillstånd
  - Fukushima
    - Naturkatastrof
- Spridning
- Hantering av avfall
  - Säkerhet
  - Kontamination

# Slutförvaring

- Håller på att byggas i Olkiluoto
  - Planerad att tas i bruk 2020
- 400-500 m djup
- Tunnelsystem
- 2-3 km<sup>2</sup>
- Transport från Lovisa i specialgjorda bilar till Eurajoki åmynning



# Slutförvaring - inkapsling

- Specialgjorda behållare i tre skikt
  - Betonitlera
  - Koppar
  - Gjutjärn
- 5 cm tjocka väggar av koppar
- Gjutjärn som fungerar som stöd och förstärkning
- Betonitlera fungerar som isolering från vatten

# Risker med slutförvaring

- Korrosion
- Berggrundens rörelse
  - Jordbävningar
  - Sprickbildningar
  - Istidsscenario

## Källor

- J. Ahlbecks kurs kompendium i miljövardsteknik
- Den kluvna atomkärnan J. Ahlbeck
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Pressurized\\_water\\_reactor](http://en.wikipedia.org/wiki/Pressurized_water_reactor)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Boiling\\_water\\_reactor](http://en.wikipedia.org/wiki/Boiling_water_reactor)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/European\\_Pressurized\\_Reactor](http://en.wikipedia.org/wiki/European_Pressurized_Reactor)
- <http://en.wikipedia.org/wiki/RBMK>
- <http://world-nuclear.org/info/inf02.html>
- <http://www.iaea.org/Publications/Booklets/NuclearPower/np08.pdf>
- <http://www.businessoulu.com/en/operating-environment/key-sectors/major-projects>
- <http://www.greenpeace.org.uk/nuclear/problems> [http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear\\_power\\_in\\_Finland](http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power_in_Finland)