

**Maća encyklopedia
energii jądrowej**

**Mini Encyclopaedia
of Nuclear Energy**

Warszawa, 2011



Foto: Tiago Padilha Alves – Central Nuclear Almirante Alvaro Alberto (Angra, Brazil)

Wstęp

Elektryczność stanowi podstawę współczesnego świata oraz jest wskaźnikiem ekonomicznego statusu kraju czy społeczeństwa. Od połowy dwudziestego wieku zaczęto w celu uzyskania elektryczności używać energii jądrowej. Dziś, pięćdziesiąt lat od momentu otwarcia pierwszej komercyjnej elektrowni jądrowej, jedna szóstą elektryczności na świecie i jedna trzecia w Europie jest wytwarzana właśnie przez elektrownie jądrowe.

Początki pokojowego wykorzystania energii atomowej w okresie powojennym wydawały się bardzo obiecujące. Zdawało się, że przyniesie ona rozwiązanie wielu ówczesnych problemów. Budowano elektrownie jądrowe oraz statki o napędzie atomowym. Jednak dwa poważne wypadki tamtych czasów spowodowały – już w okresie rozkwitu energii jądrowej – osłabienie początkowego entuzjazmu. W wielu krajach jej postrzeganie zmieniło się diametralnie.

Opinia publiczna uważała, że możliwość groźnego wypadku oraz problem utylizacji odpadów promieniotwórczych stanowią poważne problemy. Promieniotwórczość, pomimo, że jest częścią środowiska naturalnego, zawsze wydawała się czymś tajemniczym i groźnym, ponieważ jest ona niedostępna naszym zmysłom. Trudno jest wytłumaczyć zawilgości energii jądrowej oraz promieniotwórczości komuś, kto nie będzie gotowy poświęcić na to trochę czasu i wysiłku.

Obecnie coraz więcej uwagi zyskuje globalne ocieplenie spowodowane uwalnianiem do atmosfery dwutlenku węgla oraz innych gazów cieplarnianych. Obserwacje oraz dane teoretyczne pokazują, że zjawisko to może w przyszłości poważnie zagrozić znaczącej części ludzkości. Energia jądrowa jest jedynym – poza energią wodną – powszechnie dostępnym źródłem energii, które nie uwalnia gazów cieplarnianych i innych szkodliwych emisji. Fakt ten nadaje energii jądrowej całkowicie nowe znaczenie.

Mini Encyklopedia, którą trzymasz w ręku, przygotowana przez ekspertów w Centrum Szkoleń Energii Jądrowej Instytutu „Józefa Stefana” Uniwersytetu w Ljublanie, adoptowana za ich zgodą dla polskiego Czytelnika, ma na celu wyjaśnienie podstawowych faktów dotyczących promieniotwórczości oraz technologii jądrowej w łatwy i przystępny sposób. Jedynie dobre zrozumienie jest w stanie pomóc każdemu w określeniu swojej niezależnej opinii na temat zalet oraz kontrowersji związanych z omawianymi technologiami.

Foreword

Electricity drives the modern world and is an indication of the economic status of a country or a society. From the mid-twentieth century, we have also been using energy from nuclear fission for conversion into electricity. Today, fifty years after the start of operation of the first commercial nuclear power plant, one sixth of electricity in the world and one third in Europe is generated in nuclear power plants.

The beginning of the peaceful use of nuclear power in the post-war world was very optimistic. It promised a solution to many problems of that time. Nuclear power plants and nuclear-powered ships were constructed. Over the years the disadvantages of nuclear power also became apparent. Two serious accidents at the time when nuclear power was already firmly established caused a waning of the initial excitement. Opinion has turned the other way in many countries.

The general public considered the possibility of a major accident and the disposal of radioactive waste serious problems. Radioactivity, though part of the natural environment, has always seemed mysterious and dangerous because it is not accessible to our senses. It is difficult to explain the complexity of nuclear power and radioactivity to someone who is not prepared to take some time and effort.

Recently, global warming due to release of carbon dioxide and other greenhouse gases into the atmosphere is getting more attention.

Observations and theoretical data show that this phenomenon might seriously endanger a large part of mankind in the future. Nuclear power is, besides hydropower, the only large commercially available source of energy that does not release greenhouse gases. This fact gives a whole new meaning to nuclear power.

This Mini Encyclopaedia, prepared by experts in the Nuclear Training Centre, tries to explain the basic facts about radioactivity and nuclear technology in an easy-to-understand way. Only a good understanding can help each individual form his or her independent opinion about the benefits and problems of these technologies.

Spis treści

Rok 2011 – rokiem Marii Skłodowskiej-Curie	5
ENERGIA	6
Moc	7
Elektryczność	8
Produkcja energii elektrycznej w Polsce	9
Elektrownia jądrowa Krsko	12
Elektrownie jądrowe w pobliżu Polski	13
Elektrownie jądrowe w Europie... ..	14
...i na innych kontynentach	15
Udział energii jądrowej w produkcji energii elektrycznej	16
EFEKT CIEPLARNIANY	17
Konsekwencje globalnego ocieplenia	18
Emisja dwutlenku węgla wynikająca z działań ludzkich	19
Metody redukcji emisji CO ₂	20
PODSTAWY FIZYKI	21
Budowa materii	21
Promieniotwórczość	22
Pomiary promieniotwórczości	23
Rodzaje promieniowania	24
Energia z jądra atomu	25
Fuzja jądrowa	26
Eksperymentalny reaktor termojądrowy ITER	27
Rozpad jądra atomowego	28
Jądrowa reakcja łańcuchowa	29
Paliwo jądrowe	30
Jądrowy cykl paliwowy	31
Od energii jądrowej do elektryczności	34
Typy elektrowni jądrowych	35
SCHEMAT ELEKTROWNI JĄDROWEJ KRSKO	
Z REAKTOREM TYPU PWR	37
Urządzenia obiegu pierwotnego	38
Turbina i generator elektryczny	39
Nastawnia	40
Remont w elektrowni Krsko	41
Modernizacja elektrowni jądrowej Krsko	42
PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ I ŚRODOWISKO	43
Promieniowanie tła naturalnego	43
Wpływ promieniowania na organizmy żywe	44
Radon w budynkach mieszkalnych	45
Stężenie radonu w budynkach mieszkalnych	46
Zastosowania promieniotwórczości	47
Reaktor MARIA	48
Elektrownia jądrowa Krsko a środowisko	49
Bezpieczeństwo jądrowe	50
Systemy bezpieczeństwa	51
Three Mile Island (USA)	52
Czarnobyl (Związek Radziecki/Ukraina)	53
Fukushima Daiichi (Japonia)	54
ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE	55
Rodzaje odpadów promieniotwórczych	56
Odpady promieniotwórcze w elektrowni jądrowej	57
Składowanie odpadów promieniotwórczych	58
Zasada wielu barier	59
Składowanie odpadów nisko i średnio aktywnych	60
Postępowanie z odpadami wysoko aktywnymi	61
Składowanie docelowe wypalonego paliwa jądrowego	62
Odpady promieniotwórcze w Słowenii	63
Odpady promieniotwórcze w Polsce	64

Contents

2011 The Year of Maria Skłodowska-Curie	5
ENERGY	6
Power	7
Electricity	8
Electric energy production in Poland	9
Krsko Nuclear Power Plant	12
Nuclear Power Plants near the Poland	13
Nuclear Power Plants in Europe... ..	14
...and on the other continents	15
Nuclear Share in Electricity Generation	16
THE GREENHOUSE EFFECT	17
Consequences of Global Warming	18
CO ₂ Release Resulting from Human Activities	19
Measures for Reduction of CO ₂ Emissions	20
THE BASIC PHYSICS	21
The Structure of Matter	21
Radioactivity	22
Measurement of radioactivity	23
Types of Radiation	24
Energy from the atomic nucleus	25
Nuclear fusion	26
ITER – experimental fusion reactor	27
Nuclear Fission	28
Nuclear Chain Reaction	29
Nuclear fuel	30
Nuclear Fuel Cycle	31
From Nuclear Energy to Electricity	34
Types of Nuclear Power Plants	35
PLAN OF THE KRSKO NPP	37
Primary System	38
The Turbine and Electric Generator	39
The Control Room	40
Outage at the Krsko NPP	41
Modernization of Krsko NPP	42
RADIATION AND THE ENVIRONMENT	43
Background Radiation	43
Influence of Radiation on Living Beings	44
Radon in Homes	45
Radon Concentration in Homes	46
Uses of Radiation	47
MARIA Reactor	48
Krsko Nuclear Power Plant and the Environment	49
Nuclear Safety	50
Safety Systems	51
Three Mile Island (USA)	52
Chernobyl (Soviet Union/Ukraine)	53
Fukushima Daiichi (Japan)	54
RADIOACTIVE WASTE	55
Types of Radioactive Waste	56
Radioactive Waste in a Nuclear Power Plant	57
Disposal of Radioactive Waste	58
The Multiple Barrier Principle	59
Disposal of Low and Intermediate Level Waste	60
Handling of High Level Waste	61
Final Disposal of Spent Nuclear Fuel	62
Radioactive Waste in Slovenia	63
Radioactive Waste in Poland	64



Rok 2011 – rokiem Marii Skłodowskiej-Curie

2011 The Year of Maria Skłodowska-Curie

Urodziła się 7 listopada 1867 r. w Warszawie, przy ul. Freta 16.

Born 7 November 1867 in Warsaw, at 16 Freta St.

W 1877 r. Manusia, jak nazywano ją w domu, rozpoczyna naukę w Warszawie i 6 lat później kończy rządowe gimnazjum ze złotym medalem.

In 1877 Manusia, as she was called by the family, starts her education in Warsaw and six years later she finishes the government gymnasium with a golden medal.

W listopadzie 1891 r. zapisuje się na wydział matematyczno-przyrodniczy Sorbony.

In November 1891 she enters the faculty of mathematics and biology at the Sorbonne.

W 1894 r. poznaje Piotra Curie, francuskiego fizyka, a w lipcu 1895 r. wychodzi za niego za mąż.

In 1894 she meets Pierre Curie, a French physicist, and in July 1895 they get married.

W lipcu 1898 r. odkrywają pierwszy pierwiastek promieniotwórczy – polon, a w grudniu rad.





In July 1898 they discover the first radioactive element – polonium, and in December – radium.

W grudniu 1903 r. małżonkowie Curie i H. Becquerel otrzymują nagrodę Nobla. Maria staje się pierwszą kobietą uhonorowaną tą prestiżową nagrodą.

In December 1903 the Curie and Henri Becquerel receive the Nobel Prize. Maria is the first woman to be honoured with this prestigious prize.

Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie powstało w 1967 r., w setną rocznicę Jej urodzin. Mieści się przy ul. Freta 16 w Warszawie.
tel. 22 831-80-92, fax 22 831-13-04,
e-mail: muzeum.msc@neostrada.pl, <http://muzeum.if.pw.edu.pl>

ODKRYCIE RADU I POLONU

Notatki Marii i Piotra, 1898

Notatka w polskiej prasie

„Przypuszczamy, że ciała, które wyodrębniliśmy ze smółki uranowej, zawiera nieznaną jeszcze metal, zbliżony do bizmutu ze swoich właściwości chemicznych. Jeśli litnienie tego metalu się potwierdzi, proponujemy dla niego nazwę „POLON” – od imienia ojczyzny jednego z nas.”
M.P. Curie - 18 Sierpnia 1898, odkrycie polonu

„Wyżej wyszczególnione fakty każą nam przypuszczać, że w tym nowym związku promieniotwórczym znajduje się nowy pierwiastek, który proponujemy nazwać „RADEM”.
Nowy ten związek zawiera na pewno bardzo znaczną ilość baru, mimo to jednak jest on silnie promieniotwórczy. Promieniotwórczość radu musi być zatem ogromna.”
M.P. Curie - 26 Grudnia 1898, odkrycie radu

W grudniu 1911 r. jedzie do Sztokholmu po odbiór drugiej nagrody Nobla.

In December 1911 she goes to Stockholm to collect her second Nobel Prize.

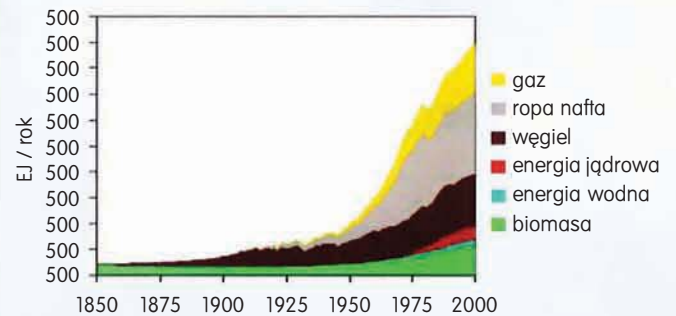
W 1934 r. Maria Skłodowska-Curie mając 67 lat, udaje się do sanatorium w Sancellemoz, gdzie 4 lipca umiera na białaczkę.

In 1934 Maria Skłodowska-Curie at the age of 67 goes to a sanatorium in Sancellemoz, where on 4th July she dies of leukemia.

Maria Skłodowska-Curie Museum has been founded in 1967, on the 100th anniversary of her birthday. It is situated at 16 Freta Street in Warsaw.
tel. 22 831-80-92, fax 22 831-13-04,
e-mail: muzeum.msc@neostrada.pl, <http://muzeum.if.pw.edu.pl>

Energia jest niezbędna do przemieszczania się i życia.

Energy is essential for movement and life.



Światowe zużycie energii wzrasta
World energy consumption is increasing

Energia występuje w kilku różnych postaciach, które mogą przechodzić jedne w drugie.

Energy comes in several different forms that are interchangeable.

Energia kinetyczna
Kinetic energy



Energia chemiczna
Chemical energy



Energia elektryczna
Electrical energy



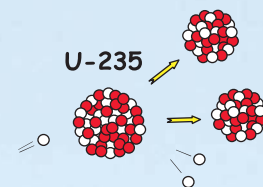
Ciepło
Heat



Światło
Light energy



Energia jądrowa
Nuclear energy



Podstawową jednostką energii jest dżul – 1 J
Jednostkę stosowaną w praktyce stanowi kilowatogodzina (kWh)
1 kWh = 3 600 000 J
Przygotowanie obiadu wymaga 1 kWh – koszt około 40 groszy

The basic unit of energy is the Joule – 1 J
Unit used in practice is kilowatt-hour (kWh)
1 kWh = 3 600 000 J
Cooking a lunch requires 1 kWh, which costs about 0.1 €

Moc określa energię zużytyą lub wytworzoną w określonym czasie

Jednostką mocy jest wat – 1W
Jednostka stosowana w praktyce to 1kW = 1000 W
1MW = 1000 kW

Power describes the energy spent or produced in a given time.

The unit for power is 1 Watt (1 W)
The units used in practice are 1 kW = 1000 W

Porównanie mocy

Power comparison



Saturn V
100.000 MW



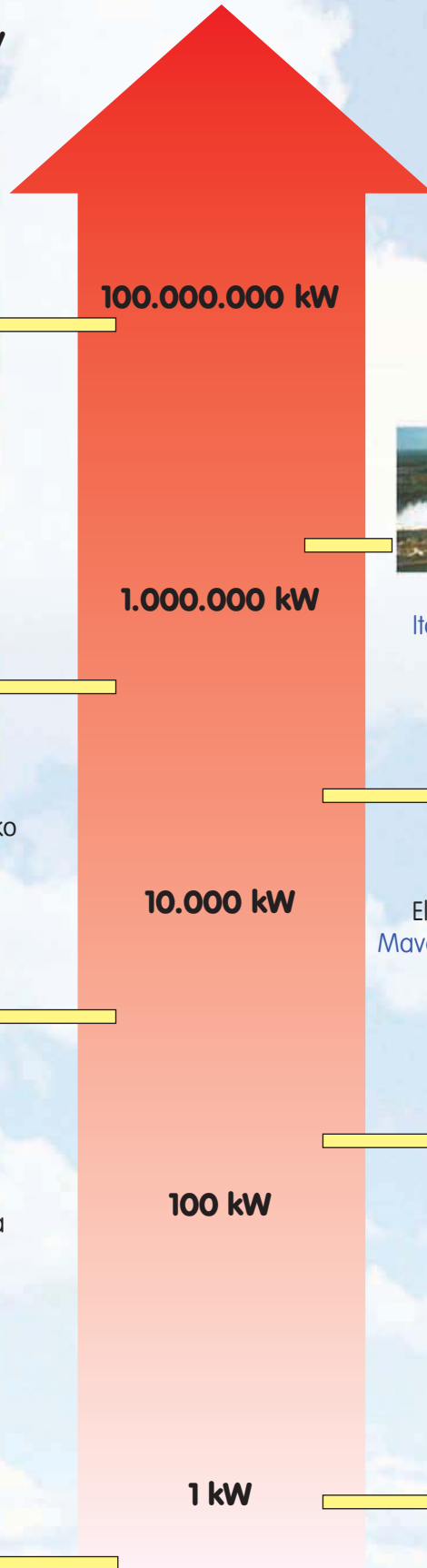
Elektrownia jądrowa Krsko
Krsko NPP
700 MW



Lokomotywa elektryczna
Electric locomotive
3 MW



Telewizor
TV
200 W



Elektrownia wodna Itaipu (Brazylia)
Itaipu hydroelectric power plant (Brazil)
13.000 MW



Elektrownia wodna Mavcice
Mavcice hydroelectric power plant
200 MW



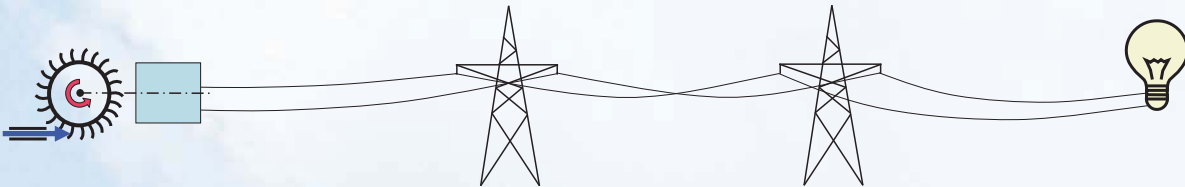
Samochód
Automobile
200 kW



Sportowiec
Athlete
1 kW

Elektryczność stanowi bardzo uniwersalny rodzaj energii, ponieważ może być łatwo przekazywana na duże odległości oraz przetwarzana w inne rodzaje energii stosowane w gospodarstwach domowych oraz przemyśle.

Electricity is a very versatile kind of energy because it can be easily transmitted over great distances and transformed into other kinds of energy used in households and industry.

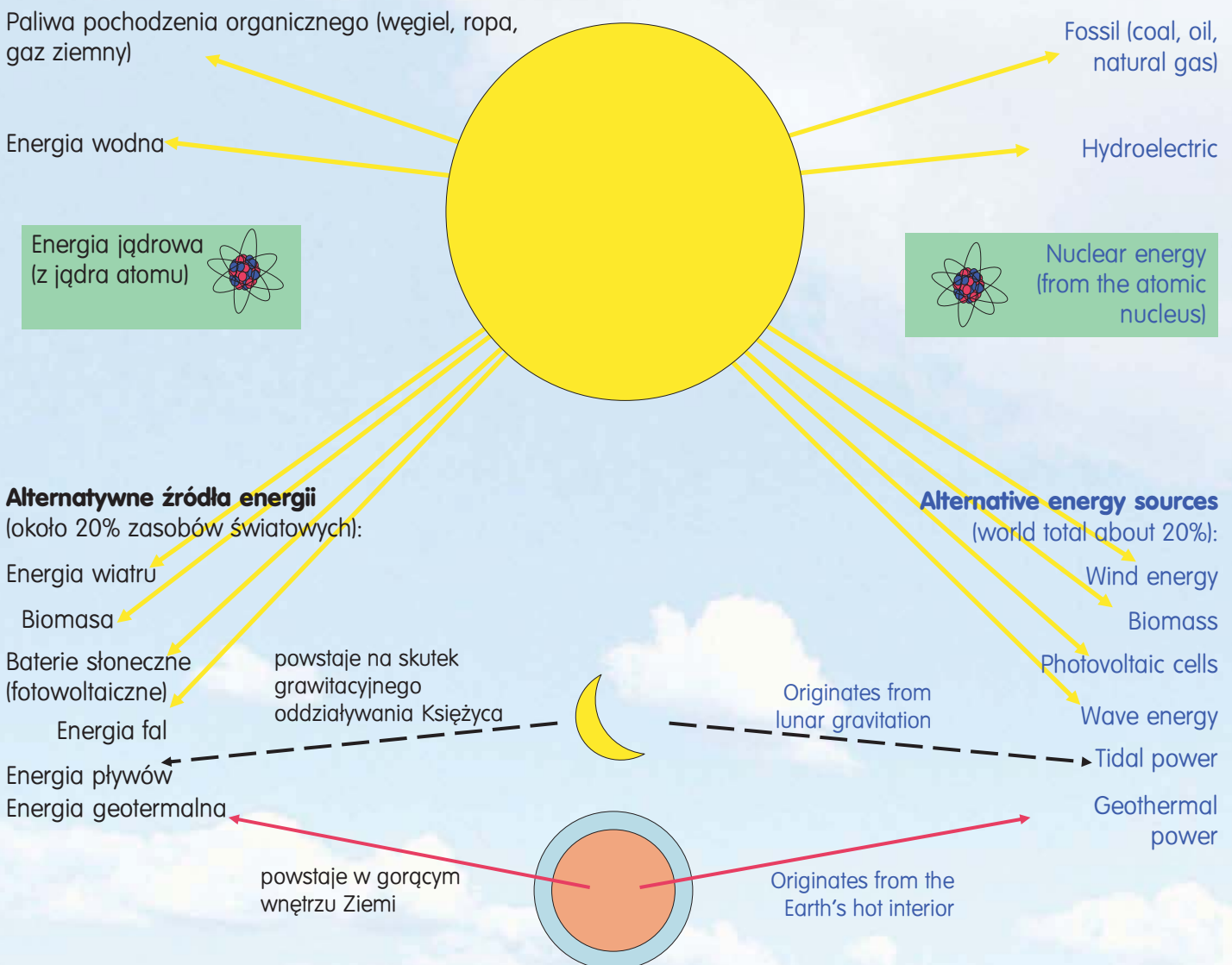


Elektryczność jest wytwarzana w elektrowniach ze źródeł energii pierwotnej.

Electricity is generated in power plants from primary energy sources.

Podstawowymi źródłami energii pierwotnej są:

The main primary energy sources are:

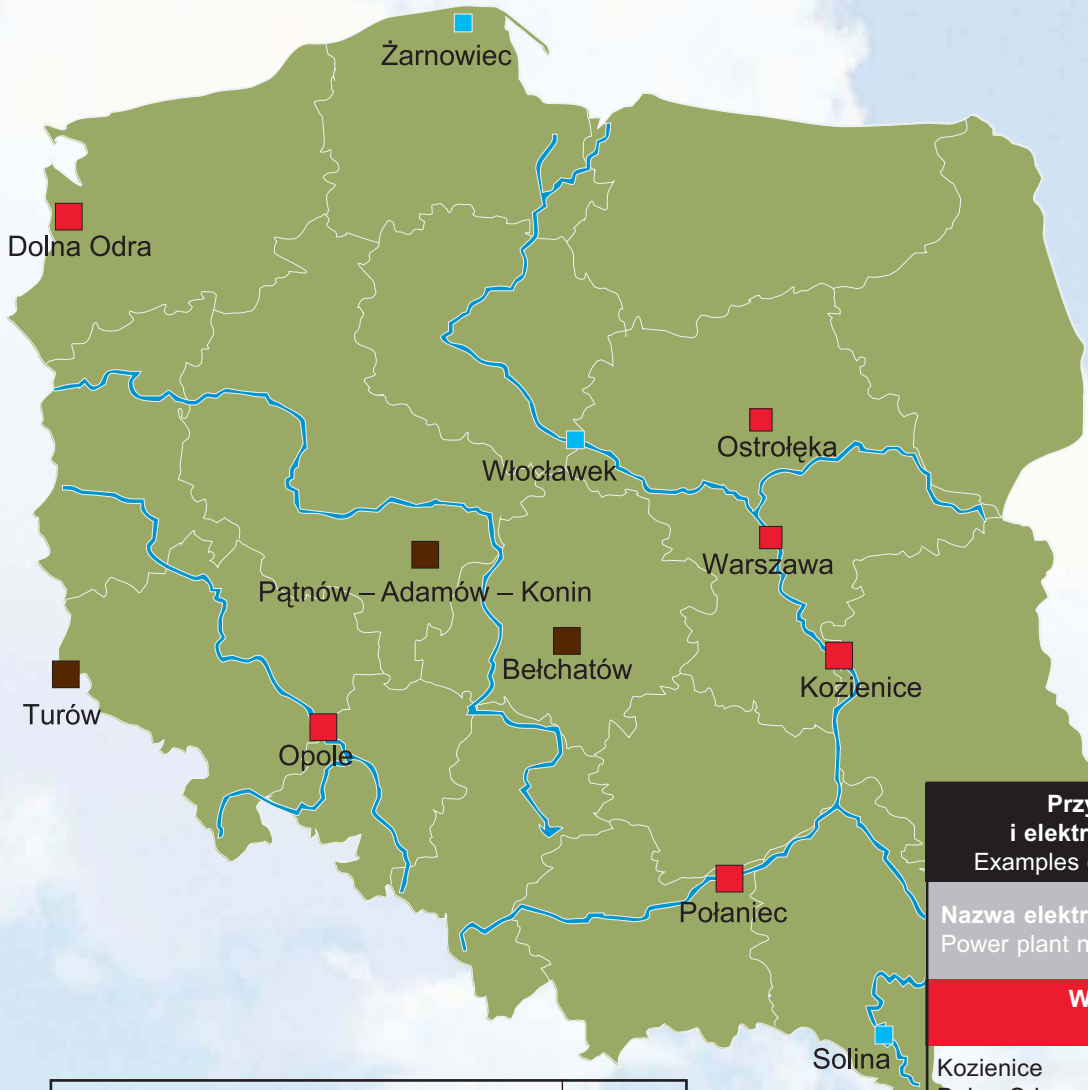


Produkcja energii elektrycznej w Polsce

Produkcja energii elektrycznej w roku 2010 wyniosła 158 TWh

Electric energy Production in Poland

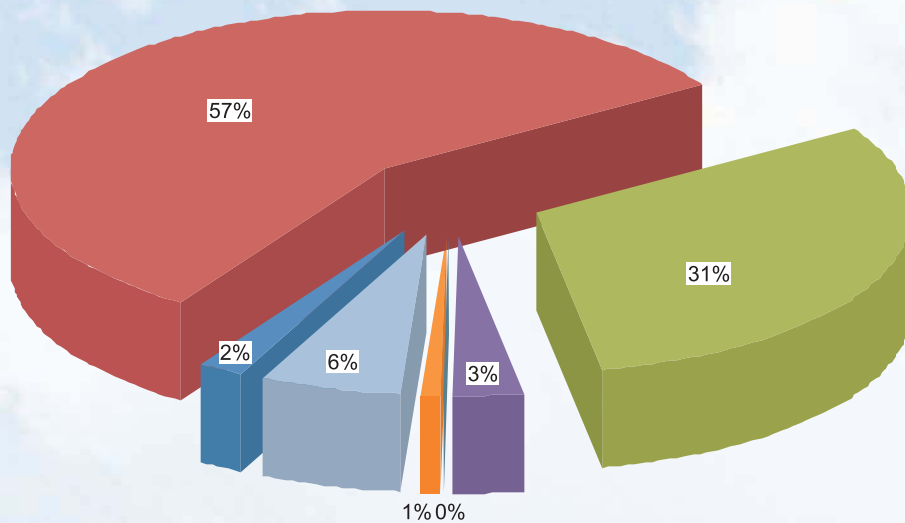
Electric energy production in Poland in the year 2010 reached 158 TWh



El. zawodowe wodne Hydroelectric power plants	3 268
El. zawodowe na węglu kamiennym Black coal power plants	89 212
El. zawodowe na węglu brunatnym Brown coal power plants	49 459
El. zawodowe gazowe Gas power plants	4 166
El. wiatrowe Wind power plants	1 300
El. inne odnawialne Other renewable power plants	11
Elektrownie przemysłowe Industrial power plants	8 923
	GWh

Przykłady elektrowni i elektrociepłowni w Polsce Examples of power plants in Poland	
Nazwa elektrowni Power plant name	Moc elektryczna Electric power
Węgiel kamienny Black coal	
Kozienice	2280 MW
Dolna Odra	1832 MW
Połaniec	1800 MW
Opole	1532 MW
Warszawa (łącznie)	1000 MW
Ostrołęka	700 MW
Węgiel brunatny Brown coal	
Bełchatów	4440 MW
Pątnów – Adamów – Konin	2512 MW
Turów	2100 MW
Przykłady elektrowni wodnych Hydroelectric power plants	
Żarnowiec	716 MW
Solina-Myczkowce	200 MW
Włocławek	160 MW

Struktura produkcji energii elektrycznej [GWh] 2010
Structure of the electric energy production [GWh] in 2010



- El. zawodowe wodne / Hydroelectric power plants
- El. zawodowe na węglu kamiennym / Black coal power plants
- El. zawodowe na węglu brunatnym / Brown coal power plants
- El. zawodowe gazowe / Gas power plants
- El. wiatrowe / Wind power plants
- El. inne odnawialne / Other renewable power plants
- Elektrownie przemysłowe / Industrial power plants

Elektrownia Bełchatów
4440 MW

Bełchatów power plant
4440 MW

Największa w Europie konwencjonalna elektrownia cieplna (kondensacyjna) i największa na świecie elektrownia wytwarzająca energię elektryczną z węgla brunatnego. Położona jest na terenie gminy Kleszczów w powiecie bełchatowskim w województwie łódzkim. 12 bloków energetycznych. Moc elektryczna wyprowadzona jest z elektrowni do krajowego systemu elektroenergetycznego poprzez rozdzielnie 220 i 400 kV. Roczna produkcja energii wynosi przeciętnie 27-28 TWh, co stanowi ponad 20% produkcji krajowej.

The biggest in Europe conventional power plant (condensation power plant) and the biggest power plant in the world using brown coal to produce electric energy. It is situated in Kleszczów borough in the district of Bełchatów, Łódź province. 12 energy units. The electric power is transferred from the power plant to the national electro energetic system through 220 and 400 kV substations. The annual production of energy averages 27-28 TWh, a 20 % of the national production.





Elektrownia Połaniec 1800 MW

Połaniec power plant 1800 MW

Położona we wsi Zawada koło Połańca. Zainstalowane 8 bloków po 225 MW. Produkuje rocznie około 7 TWh energii elektrycznej. Jest jednocześnie jednym z największych producentów energii odnawialnej („zielonej”), dzięki instalacji współspalania biomasy z węglem kamiennym.

It is situated in the village of Zawada near Połaniec. There are eight 225 MW blocks installed. It is in the same time one of the biggest providers of renewable („green”) energy, thanks to the installation enabling co-combusting biomass and black coal.

Elektrownia Wodna Żarnowiec 716 MW

Hydroelectric plant Żarnowiec 716 MW

Największa w Polsce elektrownia szczytowo-pompowa. Położona w miejscowości Czymanowo nad jeziorem Żarnowieckim w województwie pomorskim. Budowę elektrowni rozpoczęto w 1976, a jej uruchomienie nastąpiło w 1983. W początkowym okresie elektrownia miała spełniać rolę akumulatora energii dla powstającej w pobliskim Kartoszyne Elektrowni Jądrowej Żarnowiec. Górny zbiornik wodny elektrowni stanowi zbiornik Czymanowo – sztuczne jezioro o powierzchni 135 ha i pojemności 14 milionów metrów sześciennych wybudowane w miejscu dawnej wsi Kolkowo. Zbiornik dolny stanowi natomiast Jezioro Żarnowieckie.



The biggest in Poland pumped storage power plant. It is situated in the town of Czymanowo at the Żarnowieckie Lake in the Pomorskie province.

The construction of the power plant started in 1976, and it became operational in 1983. In the initial period the power plant was to play a role of an energy accumulator for the Żarnowiec nuclear power plant in the nearby Kartoszyn. The upper water tank of the power plant it's the Czymanowo reservoir – an artificial lake of 135 ha surface and 14 million square meters capacity constructed in the site of the then Kolkowo village. The Żarnowieckie Lake is the lower tank.

Elektrownia jądrowa Krsko

Krsko Nuclear Power Plant



Elektrownia jądrowa Krsko jest położona w Słowenii na rzece Sawie, dwa kilometry od miasta Krsko. Stanowi ona wspólną własność Republiki Słowenii oraz Republiki Chorwacji (50/50).

Krsko NPP is located in Slovenia on the river Sava 2 km of the town of Krsko, owned jointly by the Republic of Slovenia and the Republic of Croatia (50/50).

Podstawowe dane

Key data

moc elektryczna	676 MW	electrical power
moc cieplna reaktora	2000 MW	reactor thermal power
reaktor wodny ciśnieniowy (PWR)		pressurized water reactor
ciśnienie w obiegu pierwotnym	155 bar	primary pressure
ciśnienie pary przed turbiną	60 bar	turbine steam pressure
ilość pary dolotowej do turbiny	1030 kg/s	turbine steam flow
przepływ wody chłodzącej kondensator	25 m ³ /s (Sava)	condenser cooling flow
rozpoczęcie eksploatacji	1983	start of operation
projektowy czas eksploatacji	40 lat/years	design lifetime



Cena prądu z elektrowni Krsko jest niższa niż z większości pozostałych elektrowni w Słowenii.

Price of electricity from Krsko NPP is lower than of most of the other power plants.



Elektrownie jądrowe w pobliżu Polski

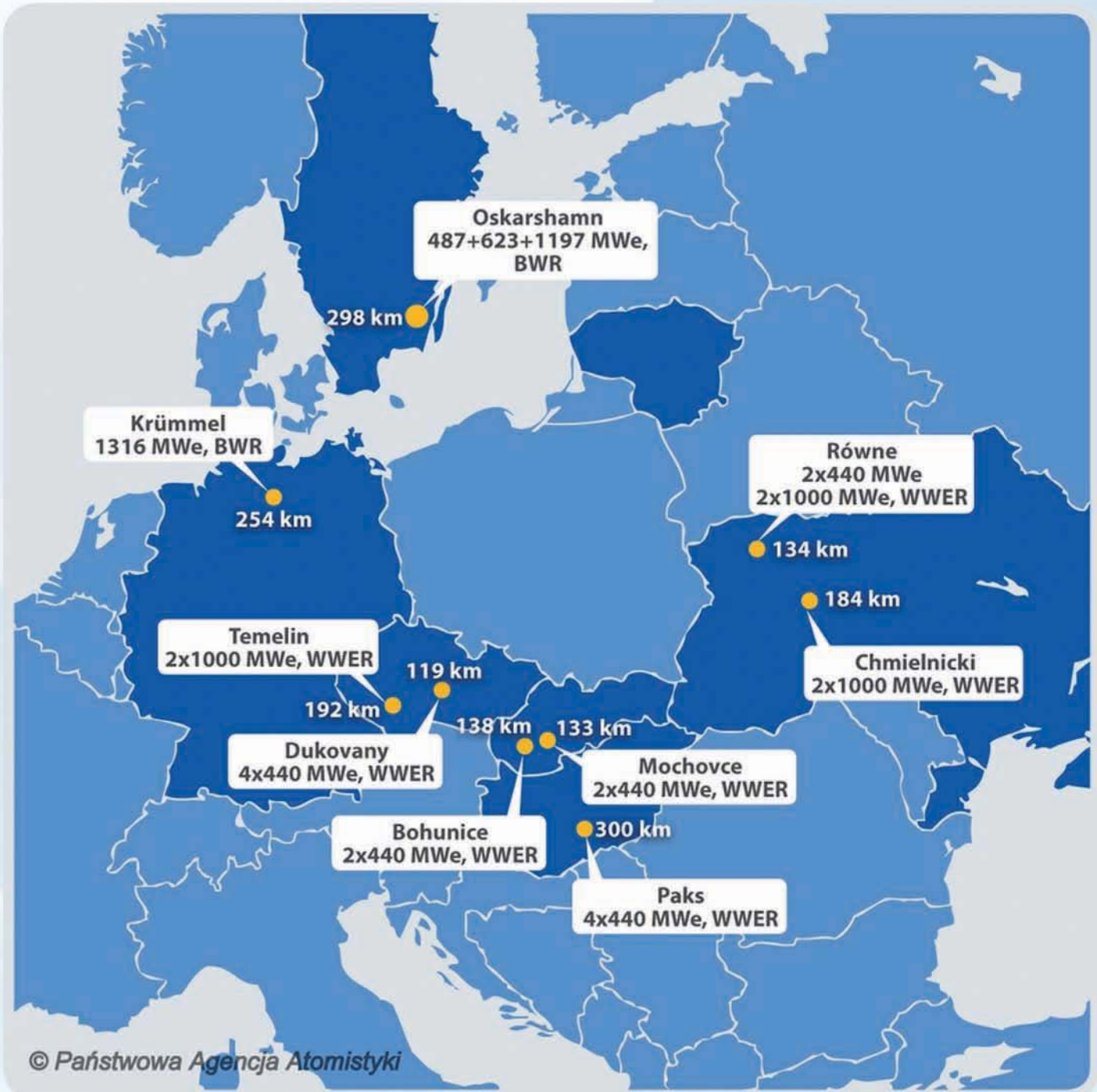
Nuclear Power Plants near the Poland

Polska nie posiada elektrowni jądrowej, ale w odległości do 310 km od granic znajduje się 9 czynnych elektrowni jądrowych (24 reaktory energetyczne) o łącznej elektrycznej mocy zainstalowanej 15,5 GWe.

Poland has no nuclear power plant, but at a distance of up to 310 km from the border there are 9 active nuclear power plants (24 power reactors) of the total electricity installed capacity 15.5 GWe.

Stan na 31 grudnia 2010 r.

As at 31 December 2010



Źródło: Opracowanie pt.: „Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2010 r.”, Państwowa Agencja Atomistyki, czerwiec 2011.

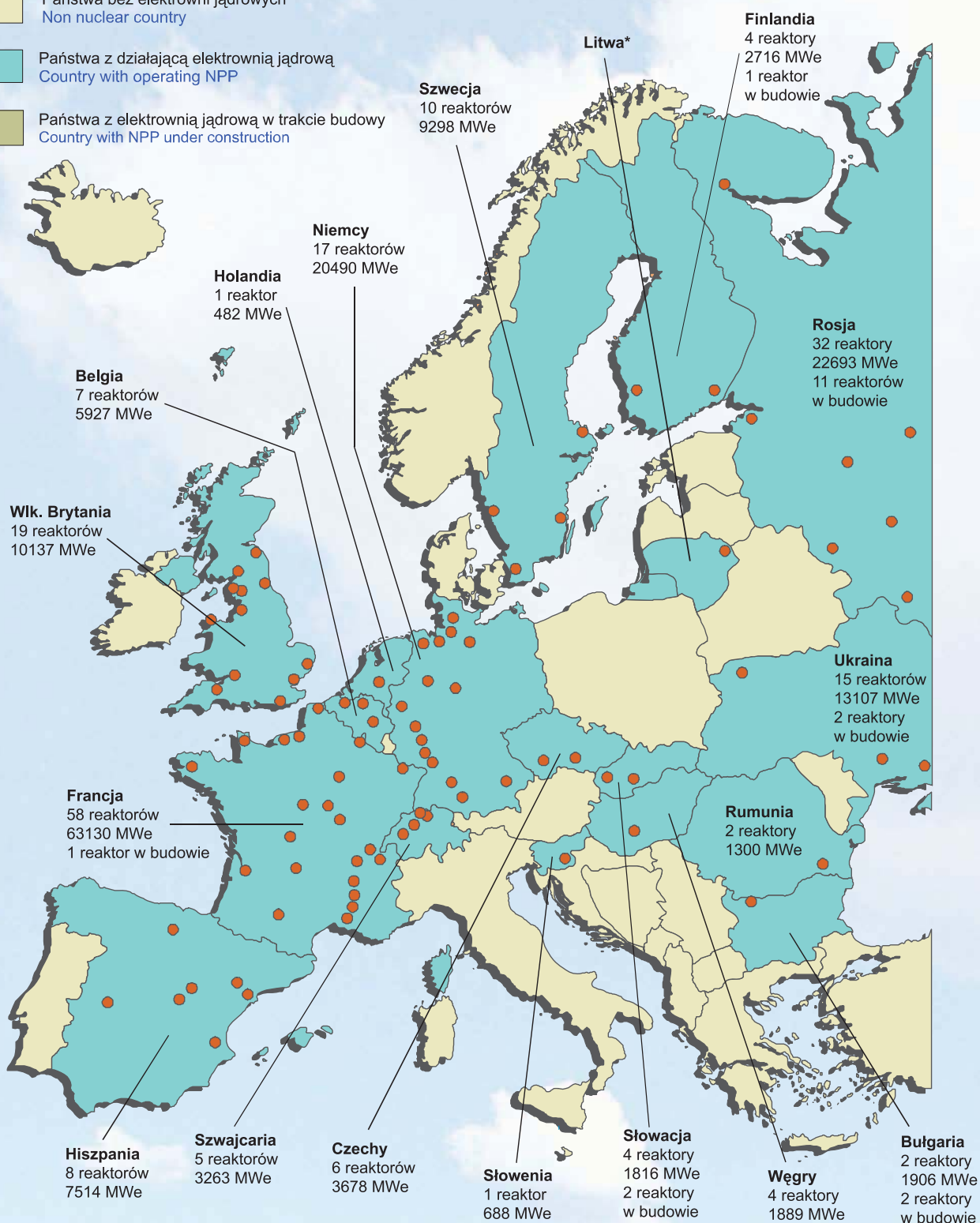
Elektrownie jądrowe w Europie...

Nuclear Power Plants in Europe...

Państwa bez elektrowni jądrowych
Non nuclear country

Państwa z działającą elektrownią jądrową
Country with operating NPP

Państwa z elektrownią jądrową w trakcie budowy
Country with NPP under construction



* Litwa w latach 2010-2018 nie będzie miała pracujących bloków jądrowych (od momentu wyłączenia elektrowni w Ignalinie do chwili uruchomienia pierwszego bloku w elektrowni Visaginia)
Lithuania in 2010-2018 years won't have working nuclear blocs (from the moment of excluding the power station in Ignalina to the moment of starting the first block in the Visaginia power station)

Stan z dnia 29 maja 2011 r. na podstawie danych zebranych przez IAEA (Międzynarodową Agencję Energii Atomowej)
Status as of May 2011 as reported to IAEA (Power Reactor Information System)

Każda z oznaczonych lokalizacji może przedstawiać kilka reaktorów.

Each indicated location can represent several reactors.

...i na innych kontynentach

...and on the other continents



Państwa bez elektrowni jądrowych
Non nuclear country

Państwa z działającą elektrownią jądrową
Country with operating NPP

Państwa z elektrownią jądrową w trakcie budowy
Country with NPP under construction

Stan z dnia 29 maja 2011 r. podstawie danych zebranych przez IAEA (Międzynarodową Agencję Energii Atomowej)

Status as of May 2011 as reported to IAEA (Power Reactor Information System).

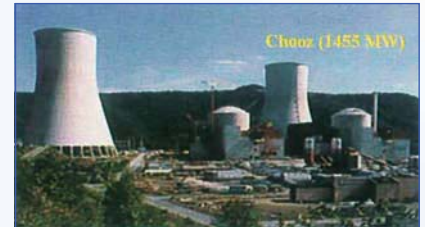
Każda z oznaczonych lokalizacji może przedstawiać kilka reaktorów.

Each indicated location can represent several reactors.

Udział energii jądrowej w produkcji energii elektrycznej

Nuclear Share in Electricity Generation

Udział EJ w krajowej produkcji energii elektrycznej (%) w 2010 r.



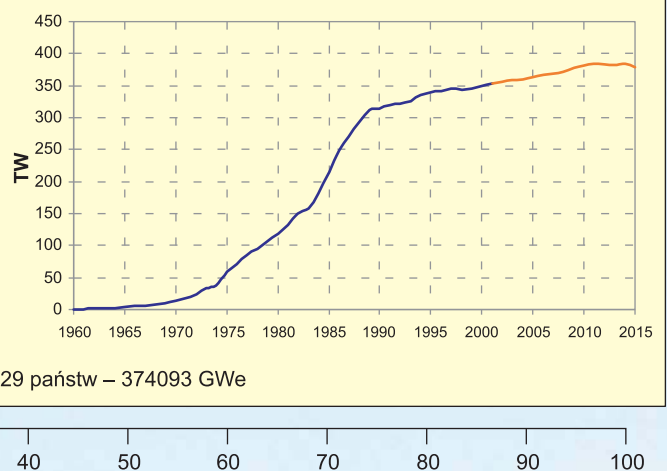
Najpotężniejsza elektrownia jądrowa świata znajduje się we Francji.
The most powerful nuclear power plant in the world is in France.



Elektrownie jądrowe produkują 14% światowej energii elektrycznej.

Nuclear plants are producing 14% of the world's total electric energy.

Łączna moc elektrowni jądrowych w eksploatacji w 2011 r.
World operating nuclear power in 2011



Źródło informacji: IAEA Power Reactor Information System
Source: IAEA Power Reactor Information System

Efekt cieplarniany

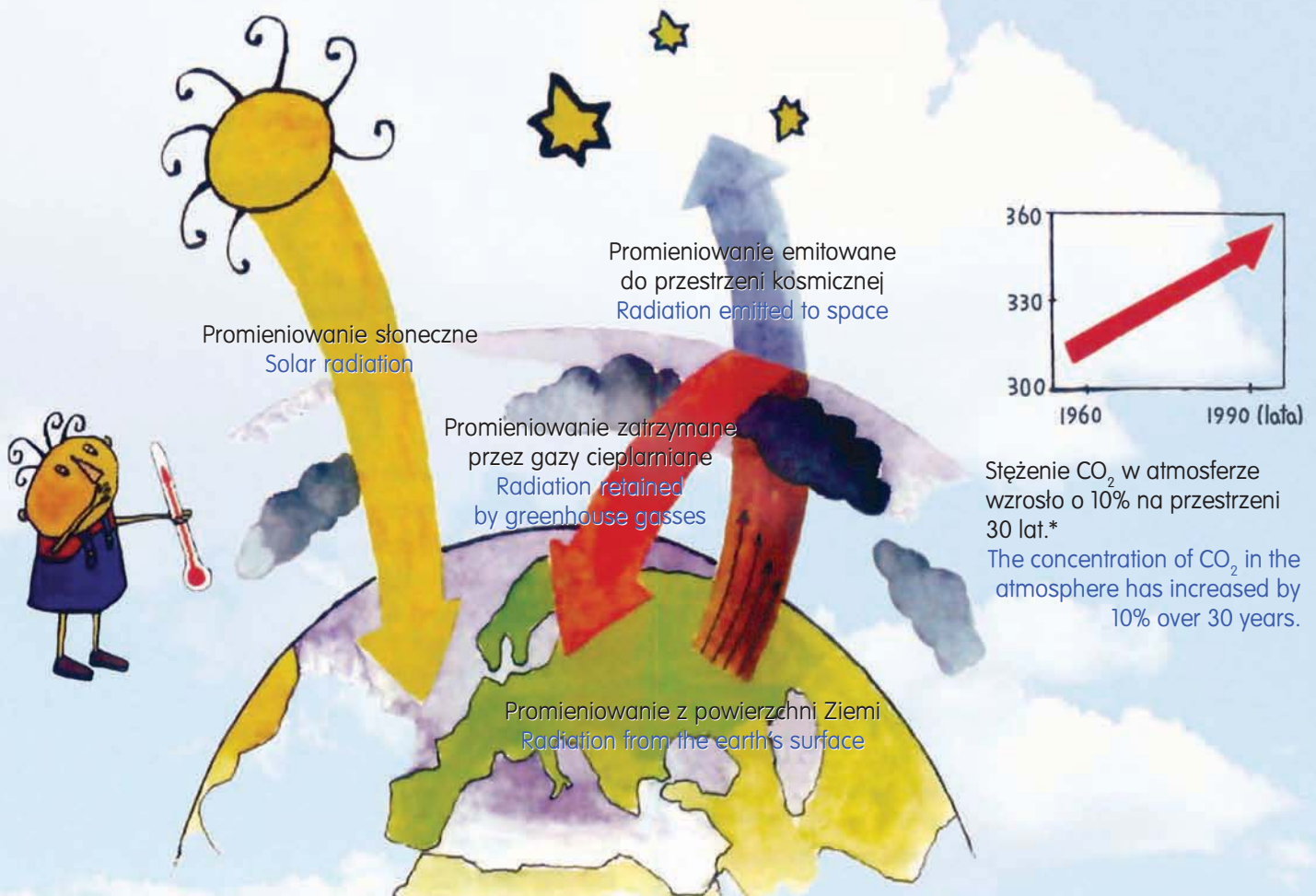
The Greenhouse Effect

Atmosfera ziemna jest przezroczysta dla ciepła generowanego przez słońce, jednak odbija dużą część ciepła powstałego na Ziemi. Tym samym, atmosfera działa jak **cieplarnia**.

The Earth atmosphere is transparent to the heat radiated by the sun, but it reflects a major part of the heat radiated by the Earth. The atmosphere therefore acts as a **greenhouse**.

Do efektu cieplarnianego przyczyniają się przede wszystkim dwutlenek węgla (CO_2), para wodna, metan oraz niektóre inne gazy.

Carbon dioxide (CO_2), water vapour, methane and some other gases are the major contributors to the greenhouse effect.



Stężenie CO_2 w atmosferze wzrosło o 10% na przestrzeni 30 lat.*
The concentration of CO_2 in the atmosphere has increased by 10% over 30 years.

Spalanie paliw kopalnych powoduje wytwarzanie dwutlenku węgla, który gromadzi się w atmosferze, obok CO_2 występującego tam w stanie naturalnym. Wzrost jego stężenia prowadzi do wzrostu temperatury.
The burning of fossil fuels produces carbon dioxide, which accumulates in the atmosphere in addition to CO_2 naturally present. The increase of its concentration causes an increase in the temperature.

* (przyp. red)

Konsekwencje globalnego ocieplenia

Consequences of Global Warming



Na przestrzeni ostatniego stulecia temperatura atmosfery wzrosła o 0.5°C. Podwojenie stężenia CO₂ zwiększyłoby średnią temperaturę od 2 do 5°C. Jeśli stopień zużycia paliw kopalnych utrzyma się na dotychczasowym poziomie, wzrost ten nastąpi w przeciągu 50 lat.

The atmosphere has warmed up by 0.5°C over the last century. Doubling the concentration of CO₂ would increase the average temperature by 2 to 5°C. If the rate of consumption of fossil fuel remains the same, this increase would occur within 50 years.

Globalne ocieplenie spowoduje poważne zmiany klimatu: Global warming would induce severe climate changes:



Poszerzenie się stref klimatu ciepłego oraz migracje gatunków roślin i zwierząt.

A broadening of warm climate zones and migration of plant and animal species.



Wzrost opadów oraz zmianę stref opadowych.

An increase in precipitation, and relocation of precipitation zones.



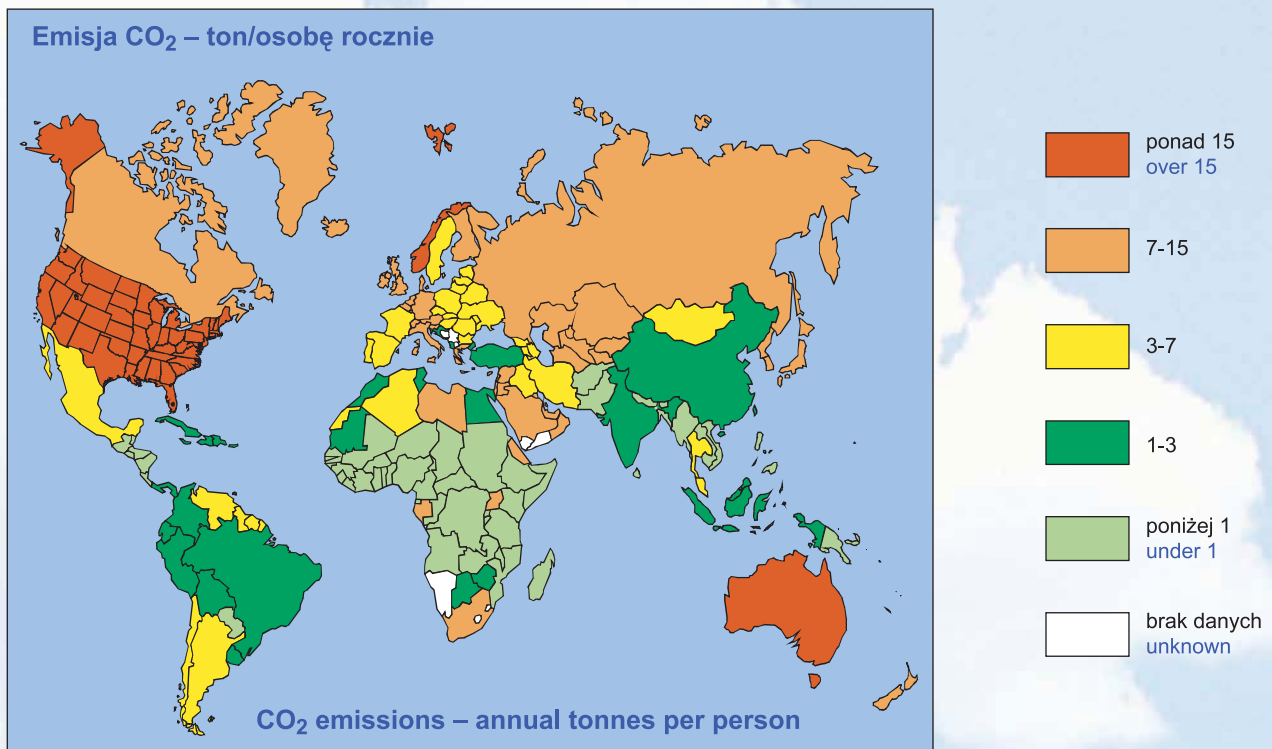
- Podniesienie się poziomu morza w efekcie topnienia lodu w okolicy biegunów oraz wzrostu temperatury wód oceanicznych.
- Częstsze burze na całym świecie.
- A rise in sea level due to melting of polar ice and the thermal expansion of ocean water.
- More frequent stormy weather throughout the world.

Emisja dwutlenku węgla wynikająca z działań ludzkich

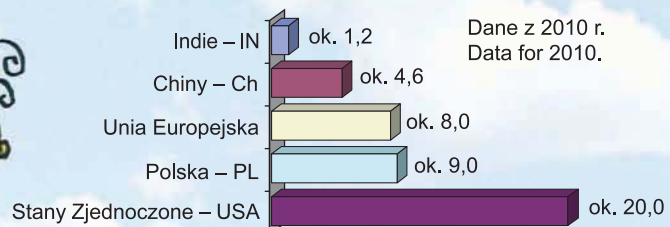
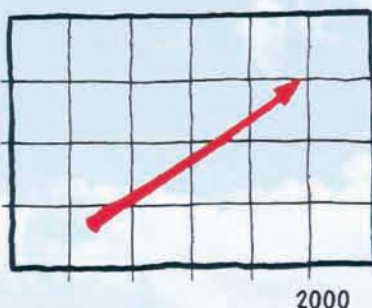
CO₂ Release Resulting from Human Activities

Roczna emisja CO₂ na osobę wskazuje na zużycie paliw kopalnych.

The yearly release of CO₂ per capita indicates the consumption of fossil fuels.



Ostatnio okazuje się, że działalność ludzka ma znakomity wpływ na efekt cieplarniany w porównaniu z siłami przyrody. Niemniej emisja CO₂ wskazuje na proces spalania organicznych paliw kopalnianych, co powoduje wiele innych szkód i pozbywa przyszłe pokolenia węglowodorów (węгля, ropy, gazu). Z tych powodów w dalszym ciągu zakłada się w UE rygory pakietu klimatyczno-energetycznego. Żeby sprostać wymaganiom trzeba inwestować w odnawialne źródła energii (OZE) i elektrownie jądrowe.



Kilka przykładowych emisji (tony CO₂ na osobę)
Some typical examples of emission (in tones of CO₂ per capita)

Jeśli nie zostaną podjęte odpowiednie kroki, emisja CO₂ do atmosfery zwiększy się w efekcie światowego procesu industrializacji oraz wzrostu liczby ludności na świecie.

If no appropriate measures are implemented, CO₂ releases into the atmosphere will increase due to world industrialization and increases in world population.

Metody redukcji emisji CO₂

Measures for Reducing CO₂ Emissions

Ponieważ emisja CO₂ stanowi problem światowy, skuteczne mogą być jedynie metody globalne takie jak:

Only global measures can be effective, because CO₂ is a global problem.
Technically feasible measures include:

1. **Zastąpienie węgla** gazem ziemnym, który zawiera mniej węgla (pierwiastka).
1. **Replacement of coal** with natural gas, which contains less carbon.



2. **Zredukowanie zużycia paliw kopalnych** w drodze racjonalizacji zużycia energii.
2. **A reduction of fossil fuel consumption** through rationalization.

3. Zwiększenie użytkowania **odnawialnych źródeł energii oraz elektrowni jądrowych.**
3. Increased usage of **renewable sources of energy and nuclear power plants.**



Jeśli chcemy zachować obecny klimat ziemski, średnie zużycie CO₂ na osobę w roku 2050 powinno być ograniczone do jednej tony rocznie.



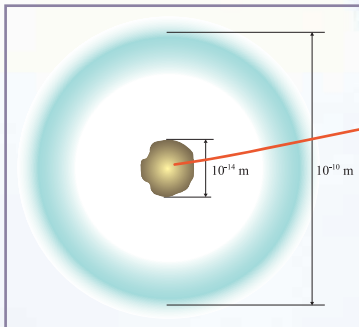
If we want to preserve the world's present climate, the average release of CO₂ per person in the year 2050 would need to be limited to one tonne per year.

Budowa materii

The Structure of Matter

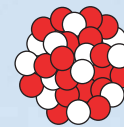
Atom jest podstawowym elementem materii. Składa się on z **jądra** oraz **elektronów**.

The **Atom** is the basic constituent of matter. It consists of a **nucleus** and **electrons**.



Jądro jest złożone z protonów i neutronów.

The **Nucleus** consists of protons and neutrons.



Protony mają ładunek dodatni, a **neutrony** – nie mają ładunku.

Protons are positively charged, **neutrons** have no charge.

Elektrony są rozproszone wokół jądra i mają ładunek ujemny.

Electrons are dispersed around the nucleus and are negatively charged.

W atomie neutralnym znajduje się równa ilość protonów i elektronów.

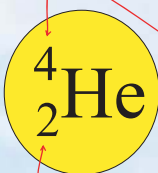
In a neutral atom there is an equal number of protons and electrons.

Chemiczne właściwości atomu określa liczba elektronów.

Chemical properties of the atom are determined by the number of electrons.

Oznaczenie jądra atomu

Notation of the atomic nucleus



Liczba masowa określa całkowitą liczbę protonów i neutronów w jądrze.

The mass number denotes the total number of protons and neutrons in the nucleus.

Liczba atomowa określa liczbę protonów w jądrze.

The atomic number denotes the number of protons in the nucleus.

Pierwiastek chemiczny to substancja składająca się z atomów o tej samej liczbie atomowej.

A chemical element is a substance which consists of atoms with the same atomic number.

Znamy **ponad 100** pierwiastków chemicznych.

More than 100 chemical elements are known.

Izotopy to atomy tego samego pierwiastka różniące się liczbą neutronów w jądrze.

Isotopes are atoms of the same chemical element which differ in the number of neutrons in the nucleus.

Wodór posiada 3 izotopy:
Hydrogen has three isotopes.



Promieniotwórczość

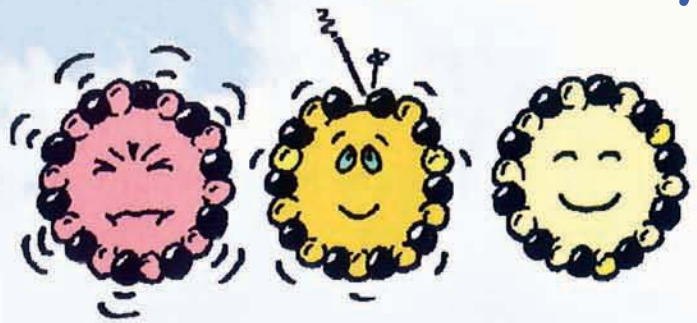
Radioactivity

Niektóre jądra atomowe są niestabilne i ulegają rozpadowi do jąder stabilnych. Zjawisko to jest znane jako **rozpad promieniotwórczy**.

Certain atomic nuclei are unstable and decay into stable nuclei. This phenomenon is known as **radioactive decay**.

Niestabilne jądra ulegają rozpadowi samorzutnie.

Unstable nuclei decay spontaneously.



jądro niestabilne
unstable nucleus

rozpad
promieniotwórczy
radioactive decay

jądro stabilne
stable nucleus



Promieniotwórczość to **naturalne zjawisko** stare jak sam świat. Zostało odkryte ponad sto lat temu.

Radioactivity is a **natural phenomenon** as old as the universe. It was discovered more than a century ago.



Podczas rozpadu promieniotwórczego, uwalniana jest energia, która przemieszcza się pod postacią cząsteczek lub fal. Uwolniona energia znana jest pod nazwą **promieniowania**.

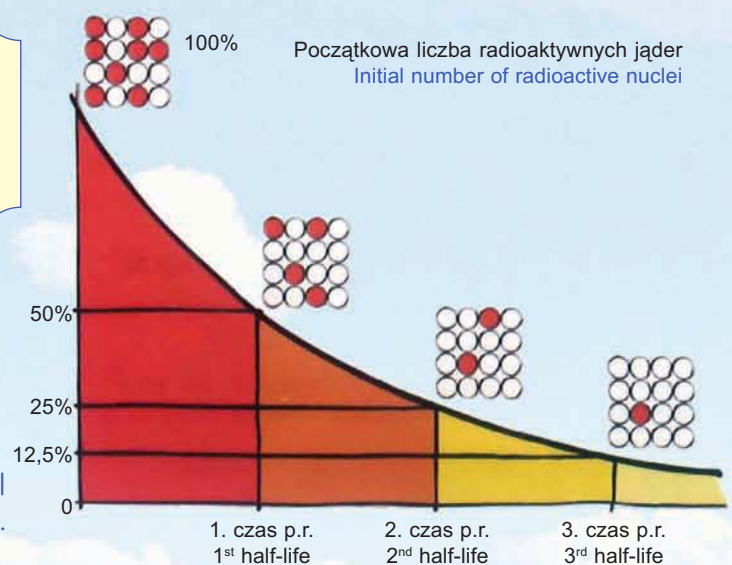
During radioactive decay, energy is released which travels through space in the form of particles or waves. The emitted energy is known as **radiation**.

Liczba radioaktywnych jąder zmniejsza się z upływem czasu.

The number of radioactive nuclei is decreases with time.

Czas połowicznego rozpadu to okres czasu, w którym połowa początkowej liczby radioaktywnych jąder ulega rozpadowi.

The **half-life** is the time period in which half of the initial number of radioactive nuclei decays.



czas p.r. – czas połowicznego rozpadu

Pomiary promieniotwórczości

Measurement of Radioactivity

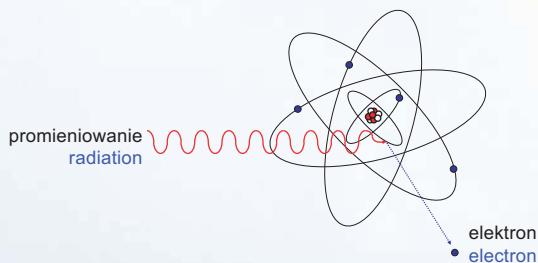
Promieniowanie nie jest wykrywalne przez nasze zmysły. Jednak ponieważ wpływa ono na atomy przez które przechodzi, może być łatwo wykryte przy użyciu różnych metod.

Radiation cannot be detected by our senses. However, because radiation affects the atoms through which it passes, we can easily detect it using a variety of methods

Wykrywacze promieniowania mogą wykryć nawet bardzo niskie natężenie promieniowania, o wiele niższe niż natężenie szkodliwe dla ludzi.

Radiation detectors can detect very low levels of radiation, substantially lower than levels harmful for humans.

Promieniowanie powstałe w wyniku rozpadu promieniotwórczego wybija z atomu elektrony. Ten efekt nosi nazwę **jonizacji**. Stąd taki typ promieniowania nazywamy **promieniowaniem jonizującym**.



Radiation from radioactive decay knocks out electrons from the atom. This effect is called **ionization**. Such radiation is therefore also **ionizing radiation**.

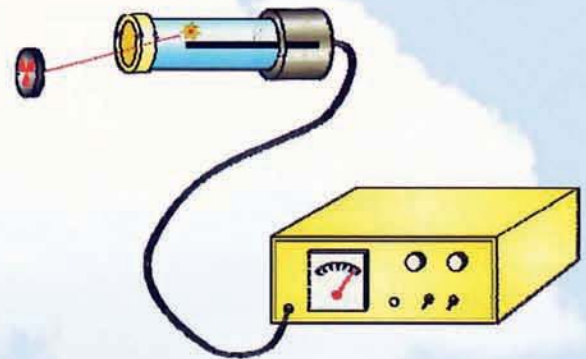
W **detektorze gazowym** promieniowanie jonizuje gaz w tubie. Powstałe w efekcie tego naładowane cząsteczki, elektrony (-) oraz jony (+) tworzą w rurze prąd elektryczny. Natężenie prądu jest proporcjonalne do natężenia promieniowania. Najczęściej używanym detektorem gazowym jest **licznik Geigera-Müllera**.

Aktywność źródła jest mierzona w bekerelach (Bq).

The **activity** of a source is measured in Becquerels (Bq).

Dawka promieniowania to miara wpływu na organizm ludzki. Jej jednostką jest **siwert (Sv)**. Zazwyczaj używa się mniejszej jednostki **1 mSv = 0,001 Sv**.

Radiation dose is a measure of its impact on the human body. The unit is the **sievert (Sv)**. Normally a smaller unit **1 mSv = 0,001 Sv** is used.



In a **gas detector** the radiation ionizes the gas in a tube. The resulting charged particles, electrons (-) and ions (+), form an electric current through the tube. The strength of the current is proportional to the radiation. The most widely used gas detector is the **Geiger-Müller tube**.

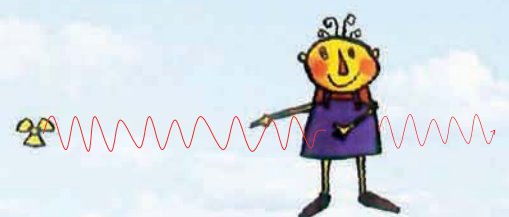
1 Bq to jeden rozpad na sekundę.



1 Bq is one decay per second.

Dawka promieniowania to miara wpływu na organizm ludzki. Jej jednostką jest **siwert (Sv)**. Zazwyczaj używa się mniejszej jednostki **1 mSv = 0,001 Sv**.

Radiation dose is a measure of its impact on the human body. The unit is the **sievert (Sv)**. Normally a smaller unit **1 mSv = 0,001 Sv** is used.



Rodzaje promieniowania

Types of Radiation

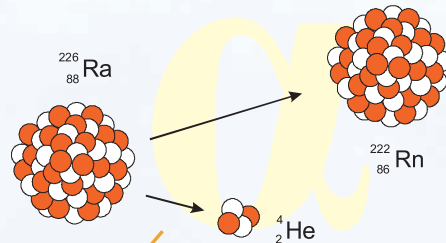
Jądra mogą się rozpadać na wiele sposobów, dlatego też istnieją różne rodzaje promieniowania.

Nuclei can decay in different ways, therefore different types of radiation exist.

Promieniowanie alfa (alpha radiation)

Podczas rozpadu alfa, produkowane są cząsteczki alfa – **jądra helu** (z dwoma protonami i dwoma neutronami)

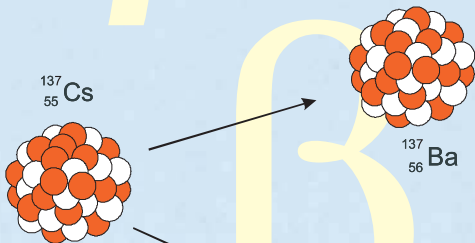
During alpha decay, alpha particles – **helium nuclei** (with 2 protons and 2 neutrons) are emitted.



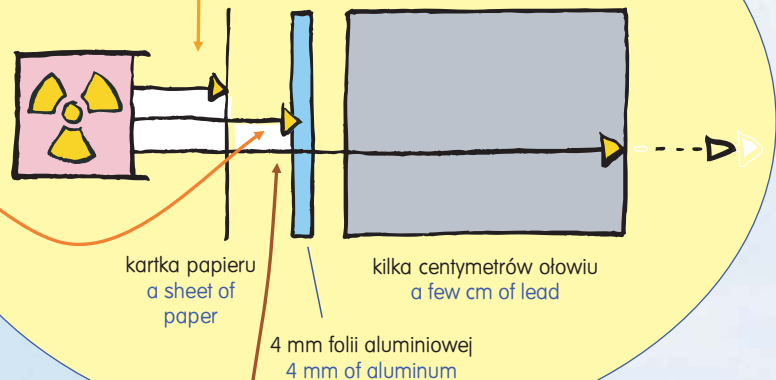
Promieniowanie beta (beta radiation)

Podczas rozpadu beta, produkowane są cząsteczki beta (**elektrony**).

During beta decay, beta particles (**electrons**) are emitted.



Co może zatrzymać poszczególne rodzaje promieniowania?
What can stop the different types of radiation?



Promieniowanie gamma (gamma radiation)

Promieniowanie gamma zwykle towarzyszy rozpadowi alfa lub beta. Powstałe jądro emituje nadmiar energii w formie **promieniowania elektromagnetycznego (foton)**.

Gamma decay usually follows alpha or beta decay, where the daughter nucleus emits the surplus energy in the form of **electromagnetic radiation (photon)**.

Promieniowanie neutronowe powstaje w wyniku określonych *reakcji atomowych*, przede wszystkim podczas rozpadu uranu w reaktorach jądrowych.

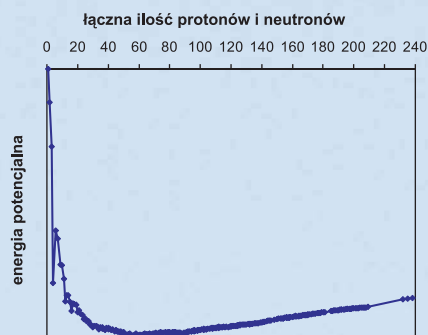
Neutron radiation results from certain *nuclear reactions*, in particular during fission of uranium in nuclear reactors.

Energia z jądra atomu

Energy from the Atomic Nucleus

Połączenia pomiędzy protonami i neutronami w jądrach są najsilniejsze (protony i neutrony mają najniższą energię potencjalną), kiedy jest w ich w jądrze około 60 (np. żelazo ^{56}Fe).

The bonds between protons and neutrons in nuclei are strongest (they have the lowest potential energy) when there are around 60 of them in a nucleus (e.g. Iron Fe-57).

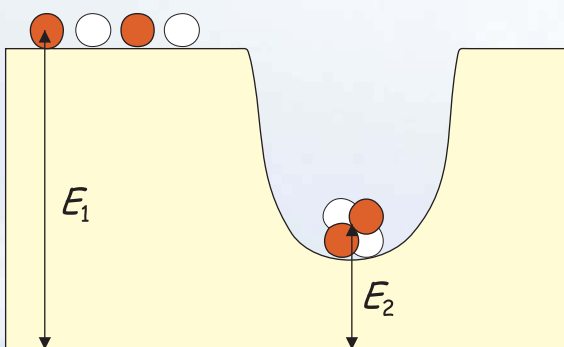


Dwa rodzaje **reakcji jądrowych** powodują spadek energii potencjalnej, a tym samym uwolnienie energii: **fuzja** (synteza) lekkich jąder oraz **rozpad** ciężkich jąder.

Two types of **nuclear reactions** cause a decrease in potential energy and consequently a release of energy: **fusion** of light nuclei or **fission** of heavy nuclei.

Fuzja (synteza)

Fusion



Jądro składające się z dwóch protonów i dwóch neutronów ma niższą energię potencjalną niż cztery niepołączone cząsteczki. Energia $E_1 - E_2$ jest uwalniana podczas ich fuzji.

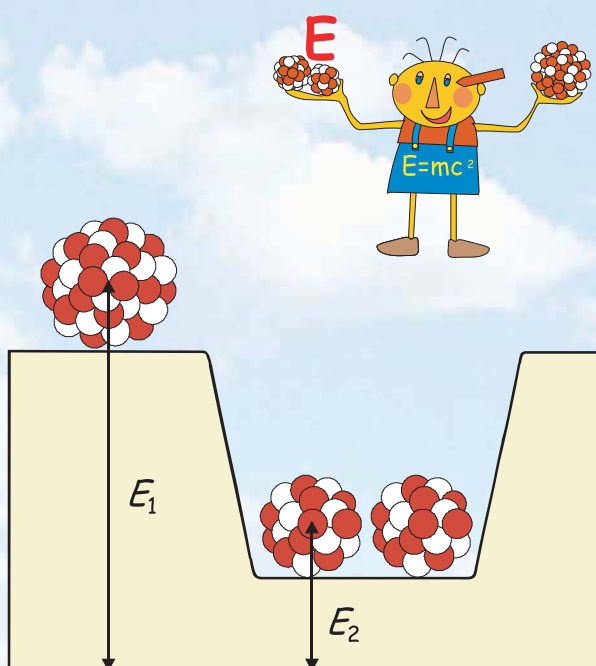
A nucleus of two protons and two neutrons has a lower potential energy than four unbound particles. Energy $E_1 - E_2$ is released during their fusion.

Rozpad (rozszczerpienie)

Fission

Dwa średniej wielkości jądra mają niższą potencjalną energię całkowitą niż jedno duże jądro. Energia $E_1 - E_2$ jest uwalniana podczas jego rozpadu.

Two medium sized nuclei have lower total potential energy than one large nucleus. Energy $E_1 - E_2$ is released during its fission.



Fuzja jądrowa

Nuclear Fusion

Reakcje fuzji (syntezy) „zasilają” słońce w energię. W wysokich temperaturach i pod olbrzymim ciśnieniem wodór przekształca się w hel.

Fusion reactions power the Sun. At high temperatures and under extreme pressure of gravity hydrogen is converted into helium.

Ponieważ grawitacja ziemská jest niższa od słonecznej, potrzebna jest temperatura około stu milionów stopni. Co więcej, synteza **deuteru** (^2H lub D) oraz **trytu** (^3H lub T) jest o wiele bardziej wydajna niż synteza samego wodoru.

Since the gravity on Earth is not as high as on the Sun, a temperature of about one hundred million degrees is required. Furthermore, fusion of **deuterium** (^2H or D) and **tritium** (^3H or T) is much more efficient than fusion of ordinary hydrogen (^1H).

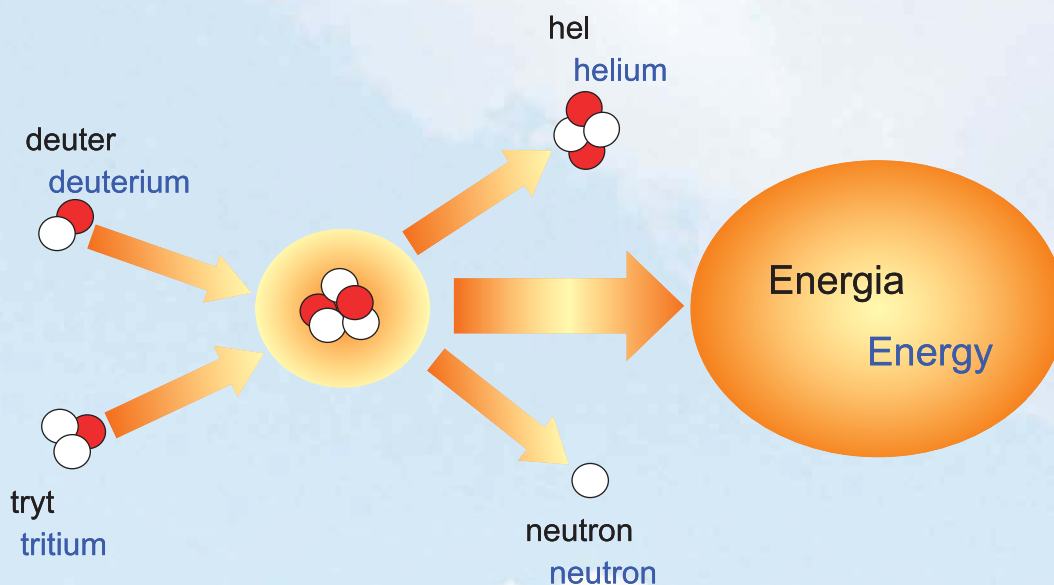
Deuter to izotop wodoru, którego jądro składa się z protonu i neutronu.

Deuterium is an isotope of hydrogen consisting of a proton and a neutron.



Tryt to izotop wodoru, którego jądro składa się z protonu i dwóch neutronów.

Tritium is an isotope of hydrogen consisting of a proton and two neutrons.



Eksperymentalny reaktor ITER będzie zasilany energią powstałą na skutek fuzji deuteru i trytu. Tryt będzie wytwarzany w procesie reakcji jądrowej z litu w płaszczu reaktora „fuzyjnego” (reaktora termojądrowego).

The ITER experimental reactor will be powered by fusion of deuterium and tritium.

Tritium will be produced by a nuclear reaction from lithium in the blanket of the fusion reactor.

Zużycie paliwa 1000 MW w elektrowni termojądrowej będzie wynosiło 100 kg deuteru oraz 3 tony litu rocznie.

Fuel consumption of a 1000 MW fusion power plant will be 100 kg of deuterium and 3 tons of lithium per year.

Eksperymentalny reaktor termojądrowy ITER

ITER – experimental fusion reactor

Główne parametry projektu

Main design parameters

Całkowita moc fuzji 500 MW
Współczynnik wzmocnienia* 10
Objętość plazmy 850 m³

Total fusion power
Amplification factor*
Plasma volume

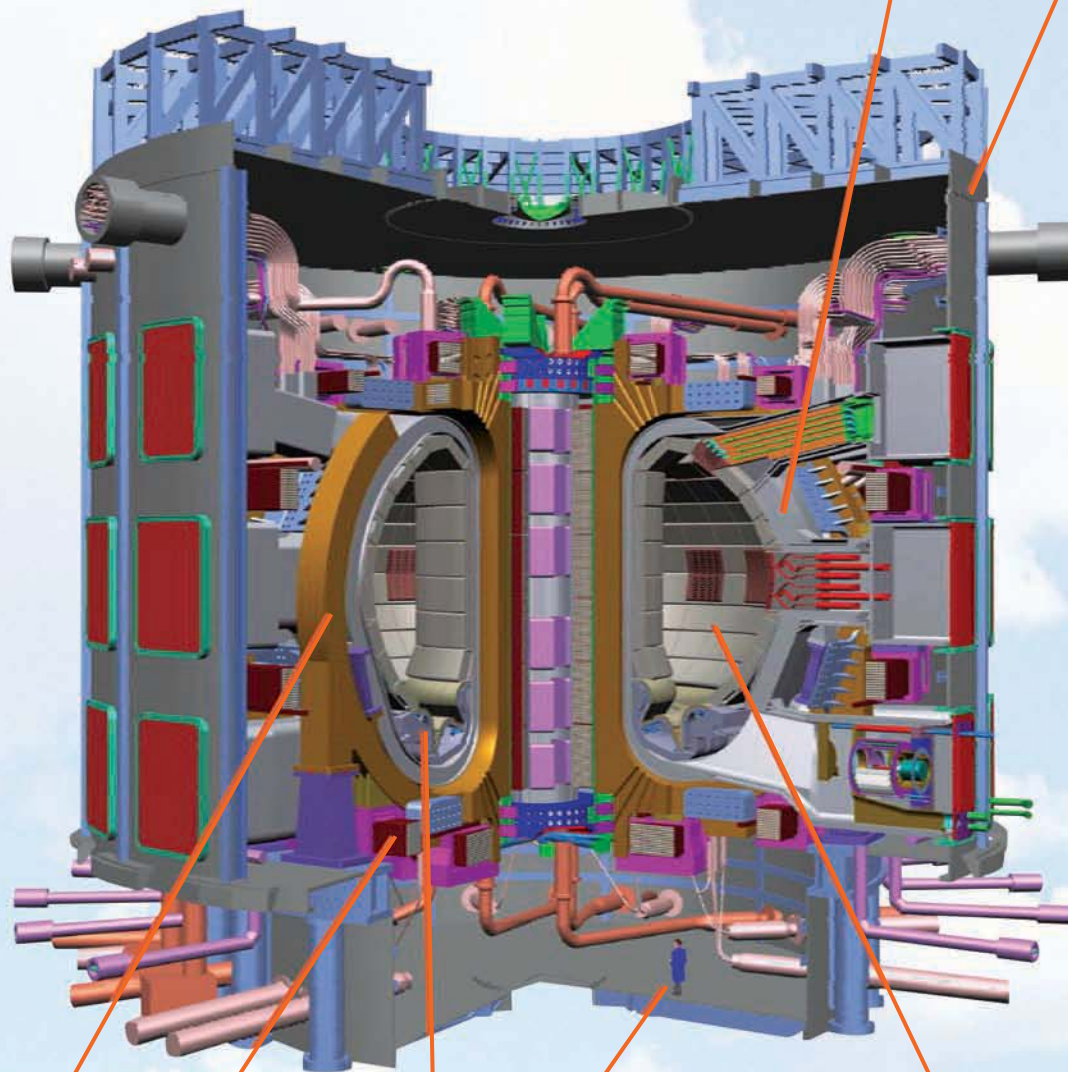
* Stosunek wyprodukowanej energii w stosunku do energii dostarczonej do plazmy

* Ratio between the generated power and the power injected into the plasma

Kriostat (-200°C) otacza uzwojenie, komorę próżniową oraz magnesy nadprzewodników.

Cryostat (-200°C) surrounds the coils, vacuum vessel and superconducting magnets.

Zbiornik komory próżniowej
Vacuum vessel



Poloidalne oraz toroidalne **uzwojenie** wytwarza pola magnetyczne, które utrzymują plazmę wewnątrz komory próżniowej i uniemożliwiają kontakt ze ścianami.

Poloidal and toroidal field **coils** generate magnetic fields that hold the plasma inside the vacuum chamber and prevent contact with the walls.

Rozdzielacz służy usuwaniu z komory próżniowej zanieczyszczeń oraz helu.

Diverter for the removal of impurities and helium from the vacuum vessel.

Człowiek
Human

Płaszcz zawiera lit potrzebny do tworzenia trytu poprzez reakcje z neutronami.

Energia neutronów jest zamieniana w ciepło w celu produkcji pary wodnej.

The **blanket** contains lithium for breeding of tritium by means of reaction with the neutrons.

Energy of neutrons is converted to heat for the production of steam.

Rozpad jądra atomowego

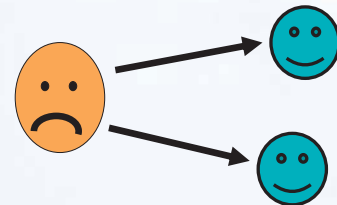
Nuclear Fission

Obecnie jedynie zjawisko rozpadu jądra atomowego jest wykorzystywane jako źródło energii jądrowej.

At present, only nuclear fission is used as a source of nuclear energy.

Jądra najcięższych pierwiastków (np. uranu) mogą się rozpadać (ulegać **rozszczerpieniu**) na dwa jądra pierwiastków lżejszych.

The nuclei of the heaviest elements (e.g. uranium) can split (undergo **fission**) into two nuclei of lighter elements.

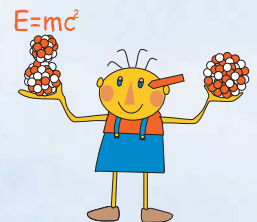
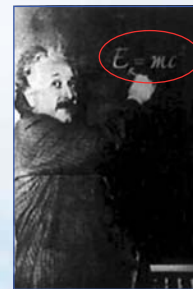
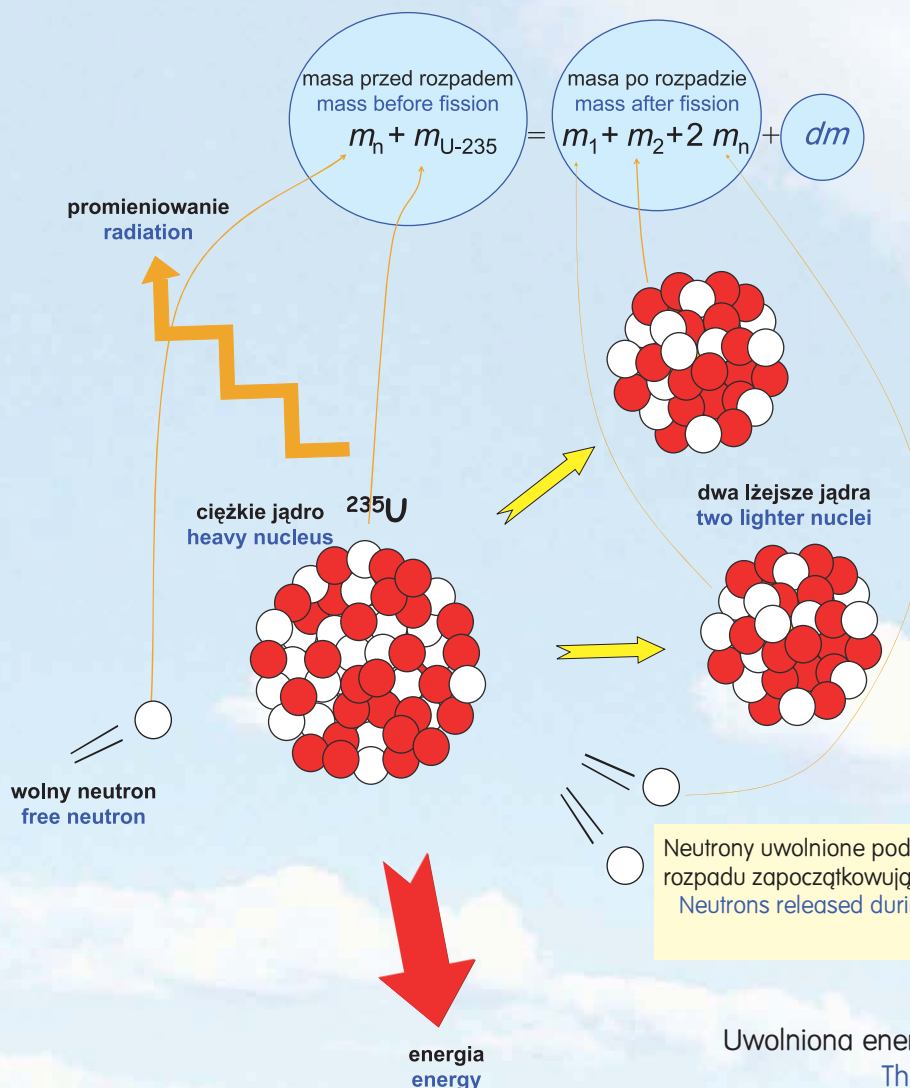


Rozpad jest wywołany napromieniowaniem jąder uranu **neutronami**.

Fission is induced by irradiation of uranium nuclei **with neutrons**.

Podczas rozpadu, pewna ilość masy rozpadającego się jądra (które wchłonęło uderzający weń neutron) jest zamieniana w energię.

During fission, some mass is converted into energy.



Nowo powstałe lekkie jądra są źródłem większości **odpadów promieniotwórczych**.
New light nuclei are the source of most of the **radioactive waste**.

Neutrony uwolnione podczas reakcji rozpadu zapoczątkowują kolejny rozpad.
Neutrons released during fission trigger the next fission.

Uwolniona energia jest zamieniana w **ciepło**.
The energy released is converted into **heat**.

Jądrowa reakcja łańcuchowa

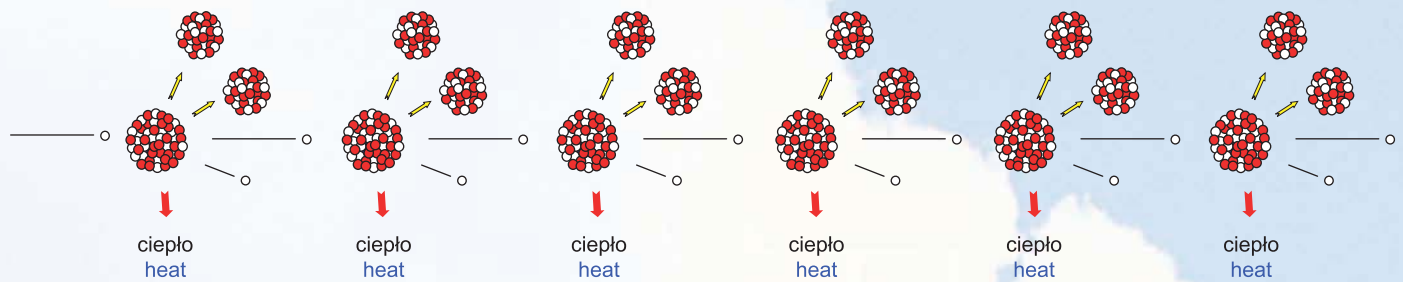
Nuclear Chain Reaction

Podczas reakcji rozpadu uwalniane są **neutrony** oraz wydzielają się **ciepło**.

Neutrons and **heat** are released during fission.

Wyemitowane neutrony mogą powodować nowe rozpady... w ten sposób powstaje **reakcja łańcuchowa**.

Emitted neutrons can induce new fission... thus a **chain reaction** is created.



Rozpad może być łatwo zapoczątkowany przez **spowolnione** („termiczne”) **neutrony**, podczas gdy neutrony wyprodukowane w wyniku rozpadu to **neutrony prężkie**. **Spowolnienie neutronów** zachodzi w substancji złożonej z lekkich atomów, zwanej **moderatorem**.

Fission is readily induced by **slow** (“thermal”) **neutrons**, while neutrons released during fission are **fast neutrons**. The **slowing down** of **neutrons** takes place in a substance composed of light atoms, the **moderator**.

Rozpady w reakcji łańcuchowej stanowią stałe źródło **ciepła**, które jest odbierane przez **chłodziwo**.

Fission in the chain reaction are a constant source of **heat**, which is removed by **coolant**.

W reaktorze jądrowym podtrzymywana jest jądrowa **reakcja łańcuchowa**.

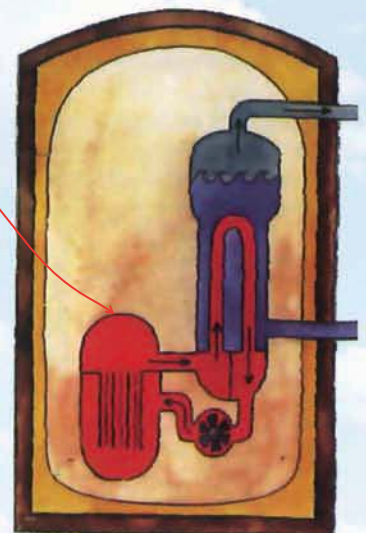
A nuclear chain reaction is maintained in a **nuclear reactor**.

Reaktor zawiera:

- **Paliwo** (uran, zwykle pod postacią dwutlenku uranu)
- **Moderator** (woda, ciężka woda lub grafit)
- **Chłodziwo** (woda, ciężka woda lub gaz)
- **Urządzenia sterujące** (pręty sterujące lub dodatki do chłodziwa)
– w celu sterowania reakcją łańcuchową oraz mocą reaktora

A reactor contains:

- **Fuel** (uranium, usually as uranium dioxide)
- **Moderator** (water, heavy water or graphite)
- **Coolant** (water, heavy water or gas)
- **Control** (control rods or additives to coolant)
– to control the chain reaction and reactor power



Paliwo jądrowe

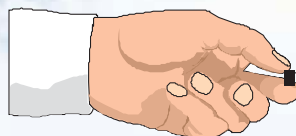
Nuclear Fuel

W przypadku większości reaktorów, uran musi być **wzbogacany** (czyli trzeba zwiększać zawartość izotopu ^{235}U).

For most reactors, uranium has to be **enriched** (i.e. the content of the isotope ^{235}U has to be increased).

Jedynie reaktory, gdzie moderatorem jest **grafit** lub **ciężka woda** mogą używać **naturalnego uranu** jako paliwa jądrowego.

Only **graphite-** or **heavy water** moderated reactors can use **natural uranium** as nuclear fuel.



Podstawowym elementem paliwa jądrowego jest **pastylka paliwowa**.

The basic element of nuclear fuel is the **fuel pellet**.



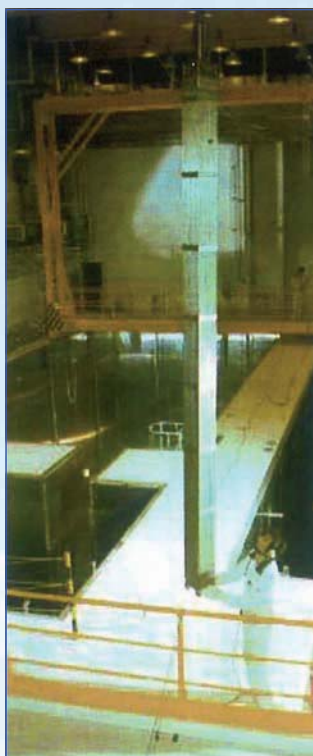
Jedna tabletkę paliwowa może wytworzyć taką samą ilość energii jak jedna tona węgla.

One fuel pellet can produce the same amount of energy as 1 ton of coal.



Tabletki paliwowe są szczelnie zamknięte w metalowej rurce – **pręcie paliwowym**.

Fuel pellets are sealed inside a metal tube – the **fuel rod**.

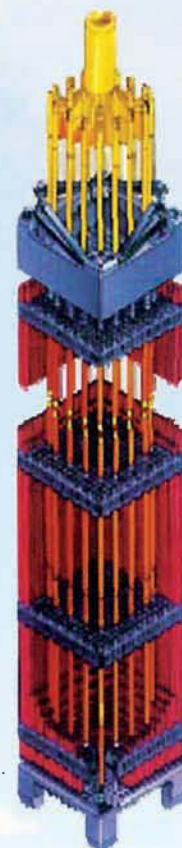


Kaseta paliwowa to wiązka prętów paliwowych. W reaktorze elektrowni jądrowej Krsko znajduje się 121 kaset, z których każda zawiera 235 prętów paliwowych.

A **fuel assembly** is a bundle of fuel rods. There are 121 fuel elements in the reactor of Krsko NPP, each containing 235 fuel rods.

Zazwyczaj element paliwowy przebywa w reaktorze 3-4 lata.

Typically a fuel element spends 3-4 years in the reactor.





Jądrowy cykl paliwowy

Nuclear Fuel Cycle

Jądrowy cykl paliwowy to sekwencja wydarzeń, poczynając od wydobycia uranu aż do końcowego składowania paliwa wypalonego.

The Nuclear Fuel Cycle is the sequence of events from mining of uranium ore to final disposal of spent fuel.



Cykl zwykle stosowany  The usual cycle
Opcjonalne procesy cyklu  Optional steps

Jądrowy cykl paliwowy

Nuclear Fuel Cycle

Wydobycie i przetwarzanie

Mining and conversion

Ruda uranu jest przetwarzana w „yellow cake” (żółte ciasto) (U_3O_8), następnie zamienione w sześćiofluorek uranu (UF_6) w formie gazowej.

Uranium ore is converted into yellow cake (U_3O_8) and then into uranium hexafluoride (UF_6) which is a gas.

Uran naturalny składa się z 99,3% ^{238}U i 0,7% ^{235}U . Większość reaktorów potrzebuje wzbogaconego uranu (~4% ^{235}U).

Natural uranium consists of 99.3% ^{238}U and 0.7% ^{235}U . Most reactors need enriched uranium (~ 4% ^{235}U).



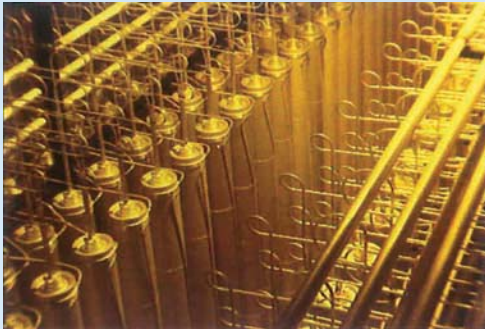
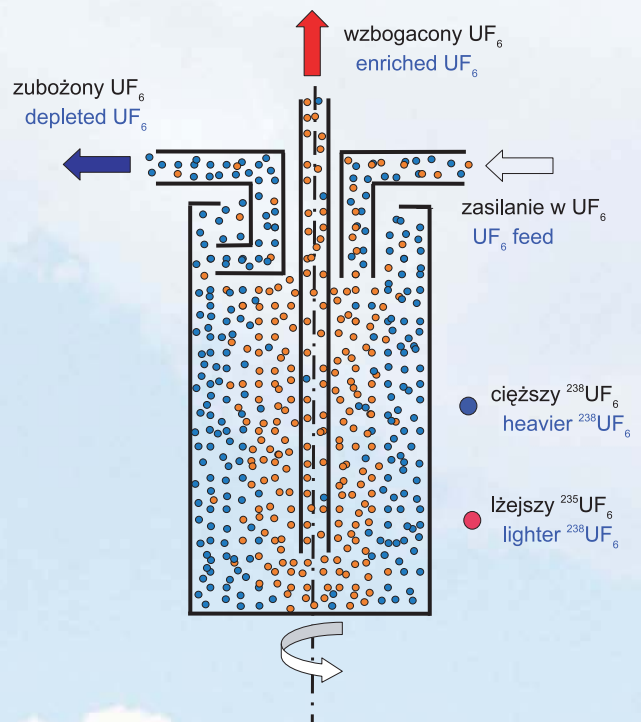
Wzbogacanie paliwa Fuel enrichment

Sześćiofluorek uranu jest wzbogacany w wirówkach gazowych.

Uranium hexafluoride (UF_6) is enriched in gas centrifuges.

Schemat wirówki gazowej

Gas centrifuge scheme



Kaskada wirówek gazowych

A cascade of gas centrifuges

Produkcja paliwa Fuel fabrication

Sześćiofluorek uranu jest przetwarzany do tlenku uranu UO_2 , a następnie – tabletek ceramicznych, którymi wypełnia się pręty paliwowe, zestawiane w kasety.

Uranium hexafluoride is reconverted to uranium oxide UO_2 and then ceramic pellets, which are encased in fuel elements.



Jądrowy cykl paliwowy

Nuclear Fuel Cycle

Basen paliwa wypalonego

Spent fuel storage

Paliwo wypalone jest przechowywane w basenie wewnątrz elektrowni przez kilka lat. Po kilku latach możliwe jest również suche przechowywanie paliwa w kontenerach chłodzonych (konwekcyjnie) powietrzem.

Spent fuel is stored in a pool within the plant for several years. After some years dry storage of fuel in air cooled casks is also possible.



Basen do przechowywania paliwa wypalonego

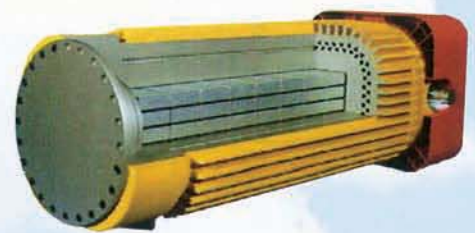
Spent fuel pool

Paliwo wypalone może być poddane przerobowi (ale nie musi)

Reprocessing of fuel is optional

W zakładach przerobu paliwa wypalonego, paliwo jest przetwarzane tak, aby usunąć długo żyjące izotopy promieniotwórcze. Objętość odpadów zostaje w znacznym stopniu zredukowana.

In the reprocessing facility, spent fuel is processed to remove long lived radioactive isotopes. The volume of waste is greatly reduced.



Kontener do przechowywania paliwa wypalonego

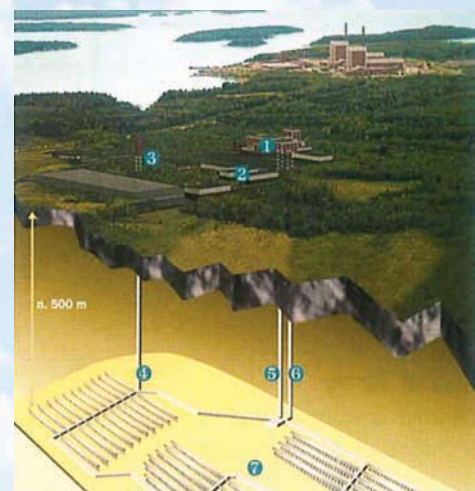
Spent fuel cask

Ostateczne składowanie paliwa wypalonego

Final disposal of fuel

Składowanie w odpowiednich formacjach geologicznych położonych głęboko pod powierzchnią ziemi stanowi najlepszą opcję. Do ostatecznego składowania pod ziemią, odpady wysokoaktywne poddaje się zeszkleniu zaś wypalone elementy paliwowe składowane są w kontenerach odpornych na korozję. Ostateczne składowanie ma nastąpić po raz pierwszy około roku 2020.

Disposal in deep geological repositories is the preferred option. The waste forms envisaged for disposal are vitrified high-level waste or spent fuel bundles in corrosion-resistant canisters. The first permanent disposal is expected to occur about 2020.

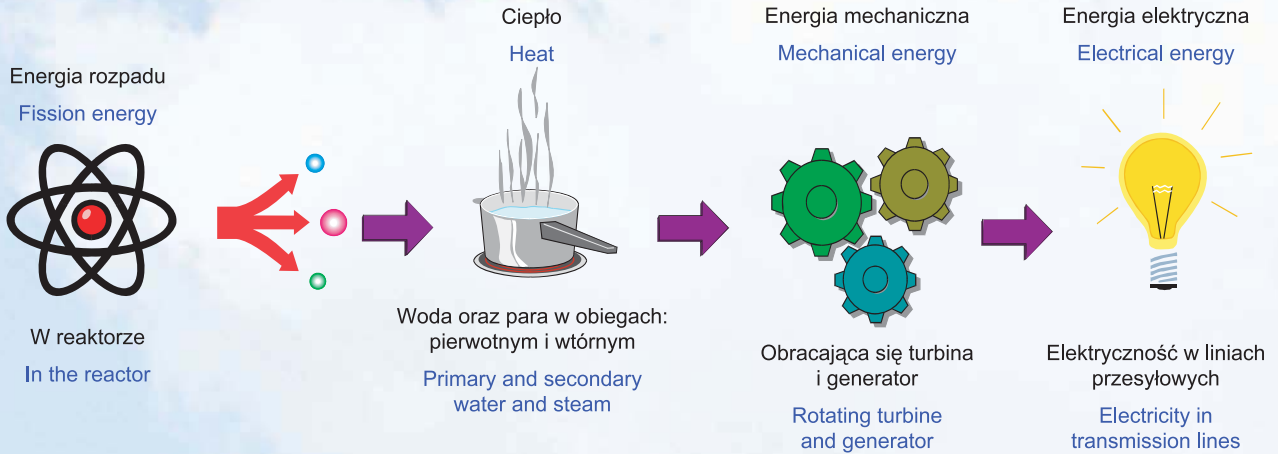


Projekt ostatecznego składowiska paliwa wypalonego w sąsiedztwie elektrowni jądrowej Olkiluoto (Finlandia)

The concept of spent fuel disposal in Olkiluoto, Finland

Od energii jądrowej do elektryczności

From Nuclear Energy to Electricity

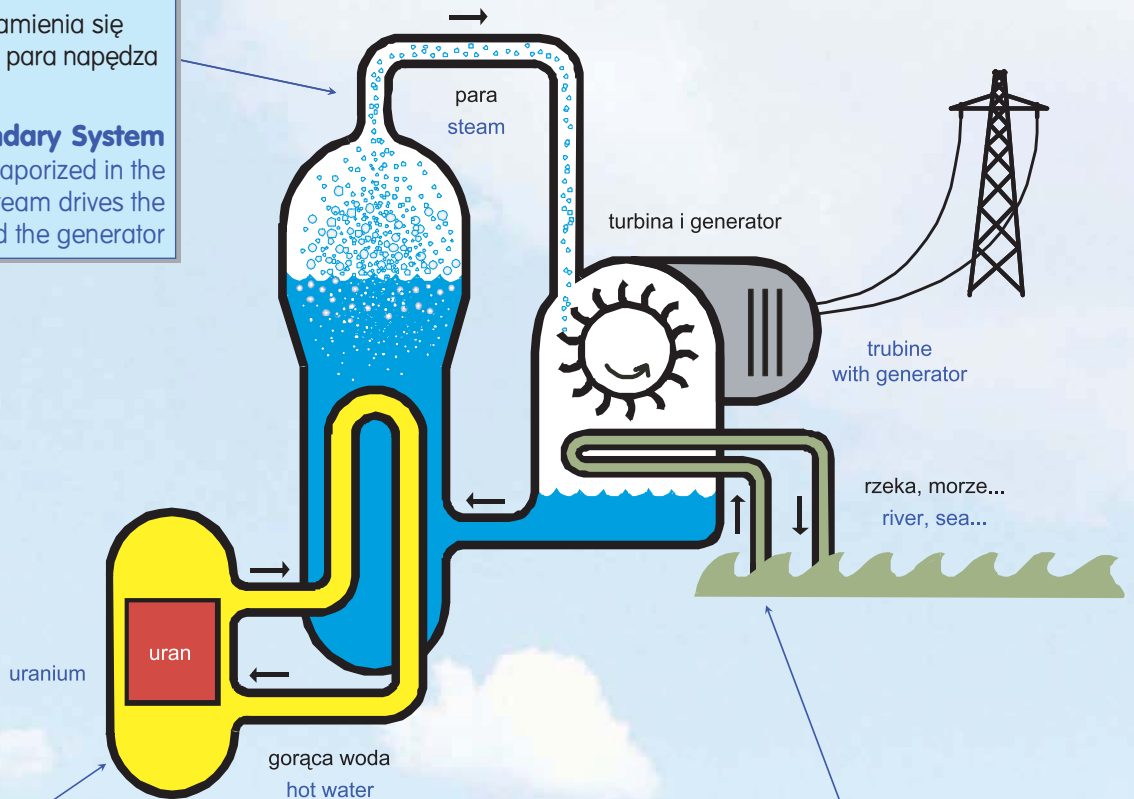


Obieg wtórny

Woda w obiegu wtórnym zamienia się w parę w wytwornicy pary, a para napędza turbogenerator.

Secondary System

Secondary water is vaporized in the steam generator, the steam drives the turbine and the generator



Obieg pierwotny

Ciepło uwalniane z reaktora jest przenoszone przez gorącą wodę pierwotnego obiegu do wytwornic pary.

Primary System

Heat released in the reactor core is transported by the primary water to steam generators.

Obieg chłodzenia kondensatora turbiny (trzeci obieg)

Woda z rzeki, morza lub chłodni kominowych jest używana do kondensacji pary. Woda powstała z pary jest następnie pompowana do wytwornicy pary.

Tertiary Cycle

Water from a river, sea or cooling towers is used to condense steam back into liquid water, which is then pumped back into the steam generator.

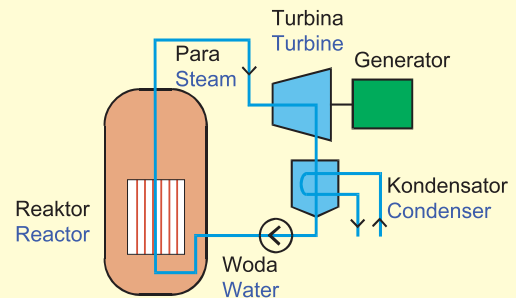
Typy elektrowni jądrowych

Types of Nuclear Power Plants

Reaktor wodny wrzący (BWR) BWR (Boiling Water Reactor)

Moderatorem i chłodziwem jest zwykła woda. Woda **wrze w reaktorze**, a para napędza turbinę.

Moderated and cooled by ordinary water. Water **boils in the reactor**, steam drives the turbine.

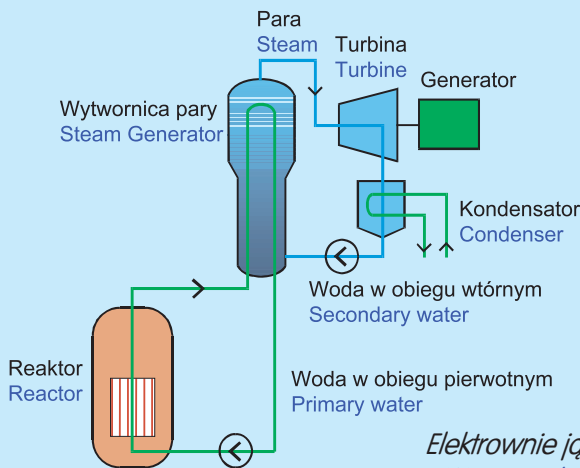


*Tego typu elektrownia jest podobna do konwencjonalnej elektrowni cieplnej, z tym, że kocioł jest zastąpiony reaktorem.
BWR is similar to a thermal power plant, having a reactor instead of a boiler.*

Reaktor wodny ciśnieniowy (PWR) PWR (Pressurized Water Reactor)

Moderatorem i chłodziwem jest zwykła woda. Woda w obiegu pierwotnym **jest pod ciśnieniem i nie wrze**. Woda w obiegu wtórnym wrze w wytwornicach pary.

Moderated and cooled by ordinary water. Primary water is **pressurized and doesn't boil**. Secondary water boils in steam generators.

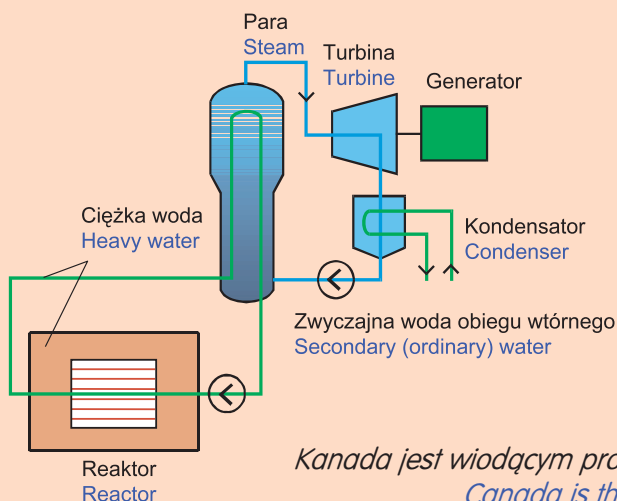


*Elektrownie jądrowe najczęściej wyposażone są w ten typ reaktora (np. EJ Krsko).
PWRs are the most common plants. Krsko NPP is a PWR.*

Reaktor ciśnieniowy ciężkowodny (PHWR) PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor)

Moderatorem i chłodziwem jest **ciężka woda**. Woda obiegu pierwotnego w reaktorze nie wrze. Woda obiegu wtórnego wrze w wytwornicach pary. Jako paliwo może być stosowany uran naturalny.

Moderated and cooled by **heavy water**. Primary water in the reactor doesn't boil. Secondary water boils in steam generators. Natural uranium can be used as the fuel.



*Kanada jest wiodącym producentem tego typu reaktorów, znanych pod nazwą CANDU.
Canada is the major producer of PHWRs, known as CANDU.*

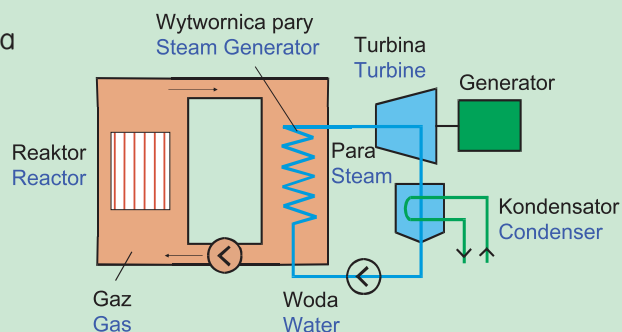
Reaktor chłodzony gazem (GCR, AGR)

GCR, AGR (Gas Cooled Reactor, Advanced Gas cooled Reactor)

Moderatorem jest **grafit**, chłodziwem – **gaz**. Gaz podgrzewa wodę, która zamienia się w parę i napędza turbinę. W tym typie reaktora stosuje się naturalny uran.

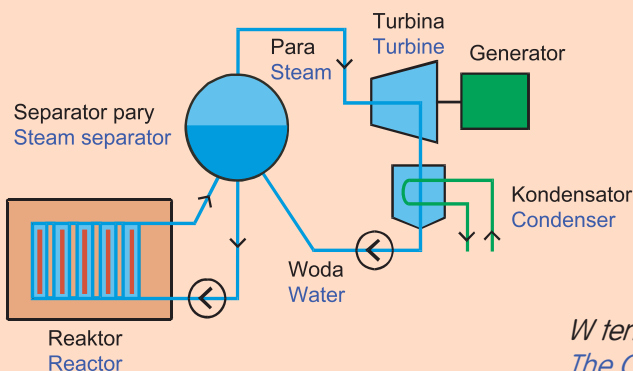
Moderated with **graphite** and cooled by **gas**. Gas heats water which vaporizes and drives the turbine. The GCR type uses natural uranium.

*Reaktory gazowe funkcjonują w Wielkiej Brytanii.
Gas cooled reactors operate in Great Britain.*



Reaktor chłodzony lekką wodą z moderatorem grafitowym (LWGR)

LWGR (Light Water cooled Graphite moderated Reactor)



Moderatorem jest **grafit**, a chłodziwem – **zwykła woda**. Woda wrze w reaktorze, a para jest oddzielana od cieczy w separatorze pary.

Moderated with **graphite** and cooled by **ordinary water**. Water boils in the reactor, steam is separated from liquid in the steam separator.

*W ten typ reaktora wyposażona była elektrownia w Czarnobylu.
The Chernobyl plant was of that type.*

Inne rodzaje reaktorów

Other Types of Reactors

Oprócz reaktorów w elektrowniach jądrowych, na świecie istnieje około 250 reaktorów **badawczych, prototypowych, szkoleniowych oraz produkcyjnych**.

In addition to reactors in nuclear power plants there are about **250 research, testing, training and production** reactors in the world.



Jednostki pływające zasilane energią jądrową

Nuclear-Powered Vessels

Ponad **500** reaktorów znajduje się na jednostkach pływających zasilanych energią jądrową (**łodziach podwodnych, lotniskowcach oraz lodolamaczach**) na całym świecie.

There are more than **500** reactors on nuclear-powered vessels (**submarines, aircraft carriers, icebreakers**) around the world.



Schemat elektrowni jądrowej Krsko z reaktorem typu PWR

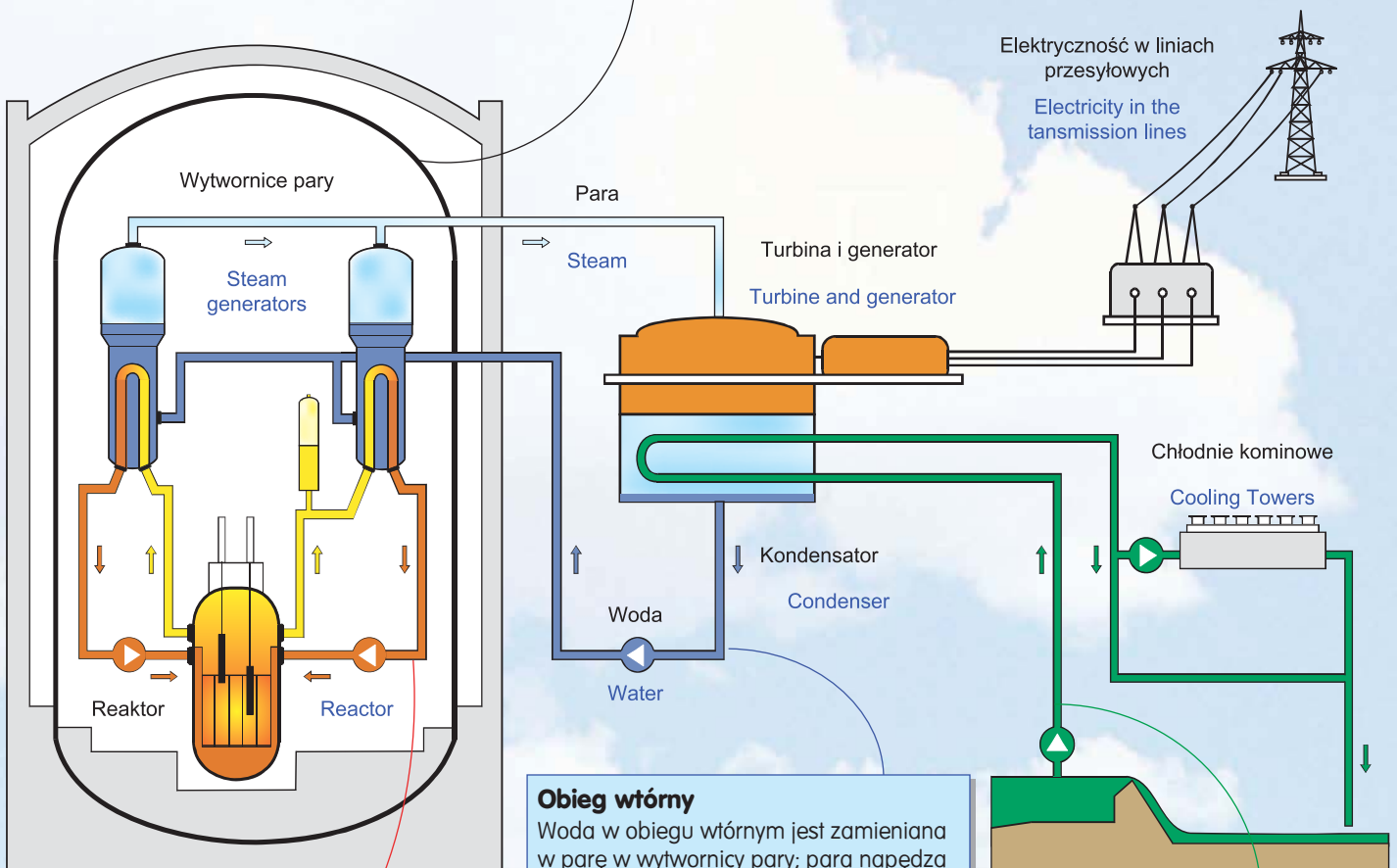
Plan of the Krsko Nuclear Power Plant

Obudowa bezpieczeństwa

to szczelna osłona zapobiegająca wyciekowi substancji promieniotwórczych w razie awarii.

The containment building

is gas-tight, leaking of radioactive substances in case of an accident.



Obieg pierwotny

Ciepło wydzielane w rdzeniu reaktora jest przenoszone przez wodę obiegu pierwotnego do wytwornicy pary.

Primary System

Heat released in the reactor core is transported by the primary water to steam generators.

Obieg wtórny

Woda w obiegu wtórnym jest zamieniana w parę w wytwornicy pary; para napędza turbinę i generator. Para wylotowa z turbiny jest kondensowana do postaci ciekłej w kondensatorze i z powrotem pompowana do wytwornicy pary.

Secondary System

Secondary water is vaporized in the steam generator, the steam drives the turbine and the generator. Turbine exhaust steam is condensed into water in the condenser and pumped back into steam generator.

Obieg chłodzenia kondensatora turbiny

Woda z rzeki Sawy jest używana do chłodzenia kondensatora, a następnie odprowadzana z powrotem do rzeki.

Tertiary Cycle

Water from the river Sava is used to cool the condenser and flows back into the river.

Chłodnie kominowe

Jeśli w Sawie nie ma wystarczająco dużo wody, używa się chłodni kominowych.

Cooling Towers

If there is not enough water in the river Sava, cooling towers are put to service.

Urządzenia obiegu pierwotnego

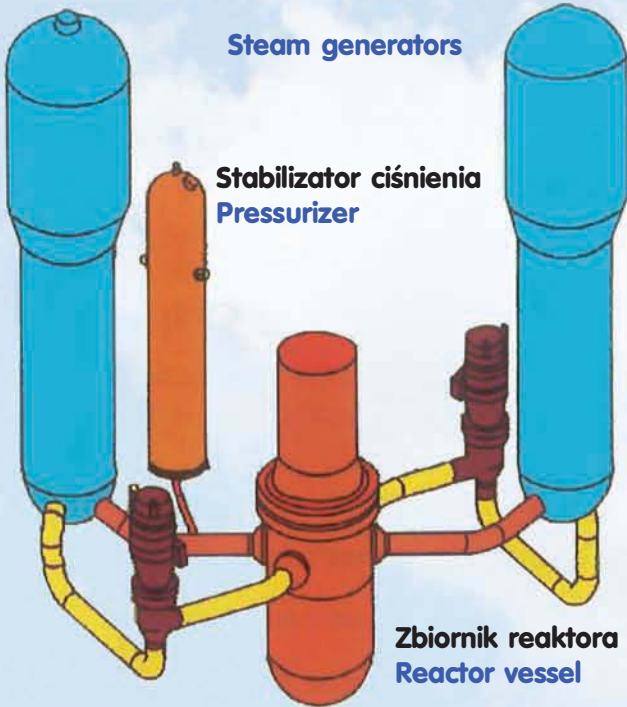
Primary System

Wytwornice pary

Steam generators

Stabilizator ciśnienia
Pressurizer

Zbiornik reaktora
Reactor vessel



Stabilizator ciśnienia jest używany w celu regulacji ciśnienia w obiegu pierwotnym.

The **pressurizer** is a vessel, used for control of the pressure in the primary cycle.

W **wytwornicach pary** ciepło jest przenoszone przez ścianki licznych rurek do obiegu wtórnego.

In the **steam generators**, heat is transferred through walls of numerous tubes into the secondary system.

Dwie **pompy obiegu pierwotnego** utrzymują stały przepływ wody w obiegu.

Two **primary pumps** maintain a constant flow of water in the primary system.

Zbiornik reaktora zawiera paliwo jądrowe. Produkowane w nim ciepło ogrzewa wodę w obiegu pierwotnym.

The **reactor vessel** holds the nuclear fuel. The heat generated in it heats water in the primary system.



Wytwornice pary
Steam Generator

Pręty regulacyjne
Control rods

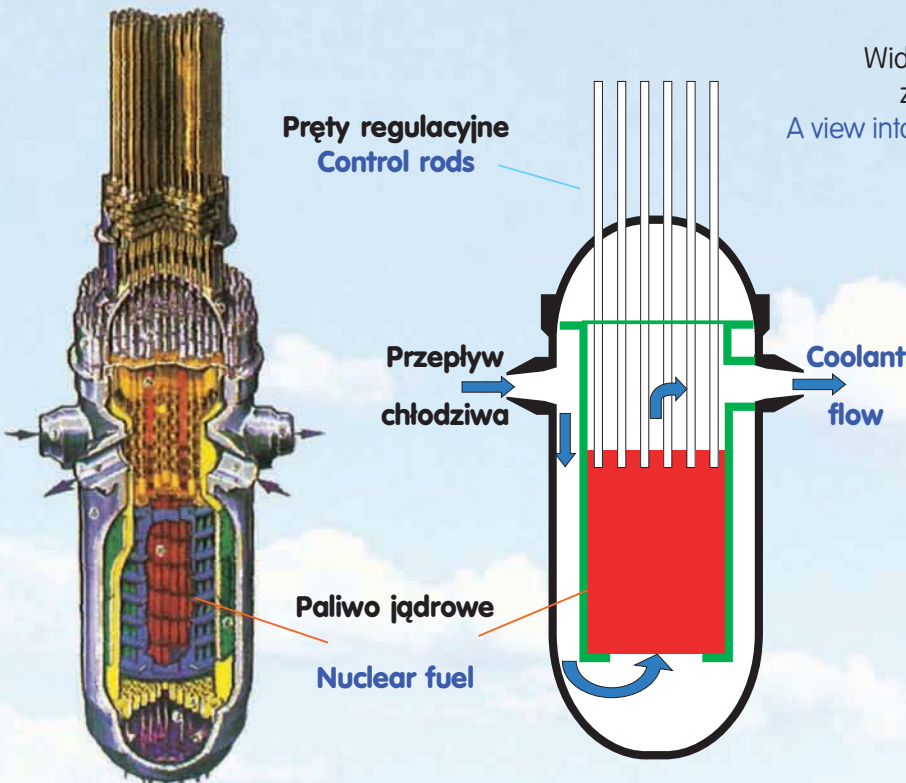
Przepływ
chłodziwa

Widok rdzenia reaktora po raz pierwszy załadowanego świeżym paliwem
A view into the first reactor core loaded with fresh fuel.

Paliwo jądrowe

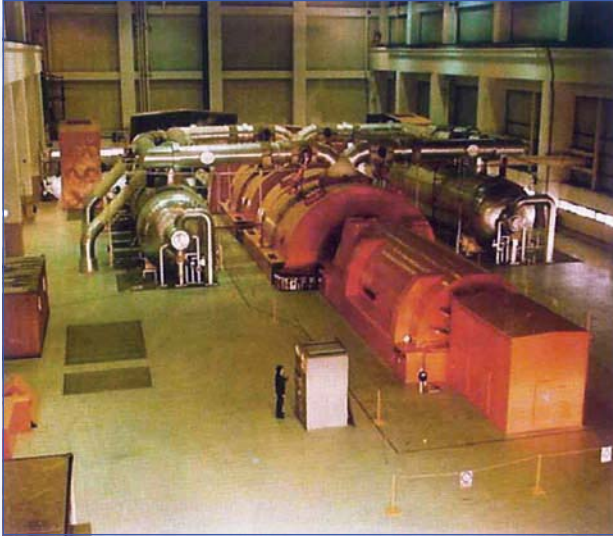
Nuclear fuel

Coolant
flow



Turbina i generator elektryczny

The Turbine and Electric Generator



Obieg wtórny elektrowni jądrowej jest bardzo podobny do tradycyjnej elektrowni z kotłami opalanymi paliwami kopalnymi: turbina napędzana jest parą wytwarzaną w kotłach parowych. Turbina jest połączona z generatorem elektrycznym, który przetwarza energię mechaniczną w energię elektryczną.

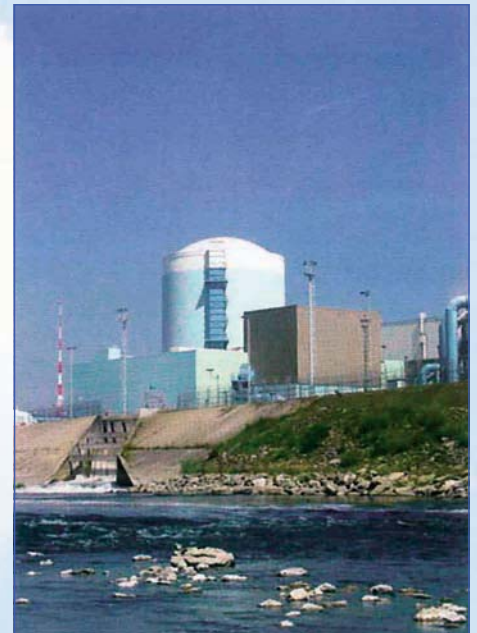
The secondary system of a nuclear power plant is very similar to a conventional fossil fuel power plant – steam from steam generator is used to drive the turbine. The turbine is connected to an electric generator, which converts mechanical energy into electricity.

Pod turbiną znajduje się kondensator, w którym para wylotowa z turbiny jest ochładzana wodą z rzeki Sawy.

Under the turbine there is a condenser in which steam is cooled by water from the Sava River.

Do ochładzania kondensatora można wykorzystać tylko jedną czwartą nurtu Sawy.

Only one quarter of the flow of the river Sava may be taken for condenser cooling.



Maksymalny dozwolony wzrost temperatury wód Sawy po wykorzystaniu wynosi 3°C, a temperatura rzeki nie może przekraczać 28°C.

The maximum permitted increase in the Sava's temperature after use is 3°C, and the temperature should not exceed 28°C.

Systemy elektryczne

Electrical Systems



Rozdzielnia

Switch yard

Od generatora prąd płynie przez dwa transformatory oraz rozdzielnię do krajowej sieci elektrycznej.



From the generator, electric current flows through two transformers and a switch yard into the national grid.

Nastawnia



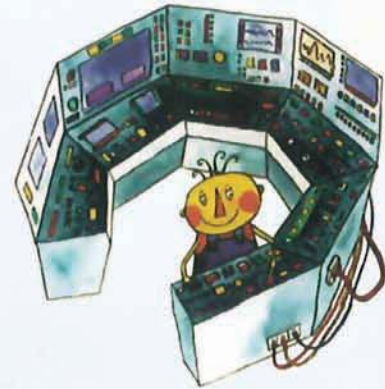
Pracę elektrowni sterują operatorzy, którzy wykorzystują w tym celu systemy sterowania.

Operation of the plant is controlled by operators using control switches at control panels.

The Control Room

Nastawnia to „mózg” elektrowni, gdzie monitorowane są wszelkie informacje dotyczące pracy elektrowni.

The control room is the 'brain' of the plant, from where information on all the plant's operations is monitored.



Symulator



Simulator



Symulator to kopia nastawni, gdzie symulowane operacje są jednakowe z operacjami realizowanymi w elektrowni.

The simulator is a copy of the control room, where simulated responses are equal to responses of the power plant.



Szkolenie operatorów

Symulator stanowi bardzo ważną część szkolenia operatorów. Każdy operator podlega czterem tygodniom szkolenia rocznie – w tym 80 godzin na symulatorze.

Operators training

The simulator is very important for the training of operators. Each operator has 4 weeks training each year, of which 80 hours on a simulator.

Remont w elektrowni jądrowej Krsko

Outage at the Krsko NPP

Regularne prace remontowe i konserwacyjne w elektrowni Krsko trwają około jednego miesiąca.

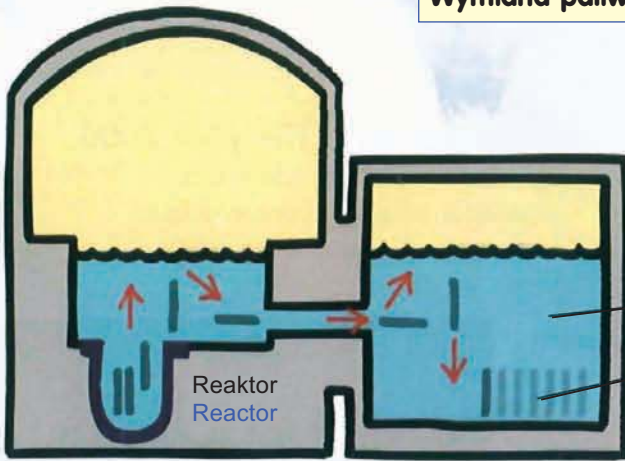
Regular maintenance work at the Krsko power plant last approximately one month.

Poczynając od roku 2004, odstawienie do remontu i wymiany paliwa odbywa się co 18 miesięcy.

Since 2004 the outage takes place every 18 months.

Wymiana paliwa

Refueling



Basen paliwa wypalonego
Spent fuel pit

Paliwo wypalone
Spent fuel

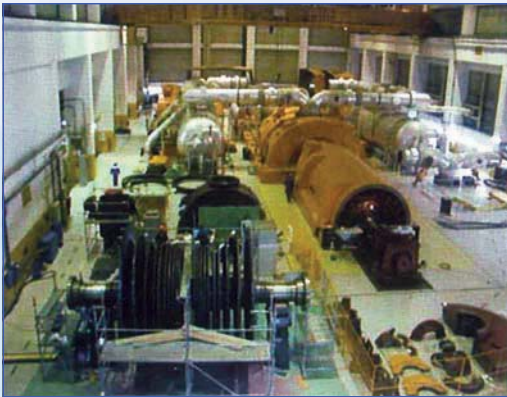


Paliwo wypalone z reaktora jest przenoszone pod wodą do basenu paliwa wypalonego, a do reaktora wstawiane jest paliwo świeże.

Spent fuel from the reactor is transferred under water to the spent fuel pit, and fresh fuel is inserted into the reactor.

Konserwacja wyposażenia

Equipment Maintenance



Rozmontowana turbina i generator elektryczny podczas odstawienia remontowego

Disassembled turbine and electrical generator during an outage

Podczas odstawienia do remontu, wyposażenie elektrowni jest sprawdzane, a w razie potrzeby wymieniane.

During an outage, equipment is checked and replaced if necessary.



Wirnik pompy

Impeller of the pump

Wyposażenie, które nie jest używane podczas codziennej pracy elektrowni, jest testowane podczas odstawienia remontowego.

Equipment that is not used during normal operation of the plant is tested during outages.

Testowanie sprzętu

Equipment Testing



Plan działań

Plannig of Activities

Drobiazgowe planowanie wszelkich działań to podstawa. Każda godzina opóźnienia jest na wagę złota...

Careful planning of all activities is essential. Each hour of delay is costly...

Modernizacja elektrowni jądrowej Krsko

Modernization of Krsko NPP

Co kilka lat wcielane są większe przedsięwzięcia modernizacyjne

Larger modernization projects take place every few years.

Modernizacja w roku 2000:

- wymiana wytwornic pary
- instalacja pełnowymiarowego symulatora (symulatora nastawni)

Modernization in the year 2000

- replacement of steam generators
- installation of a full scope simulator

Cienkie u-rurki w starych wytwornicach pary okazały się skorodowane. Była to główna przyczyna wymiany wytwornic pary.

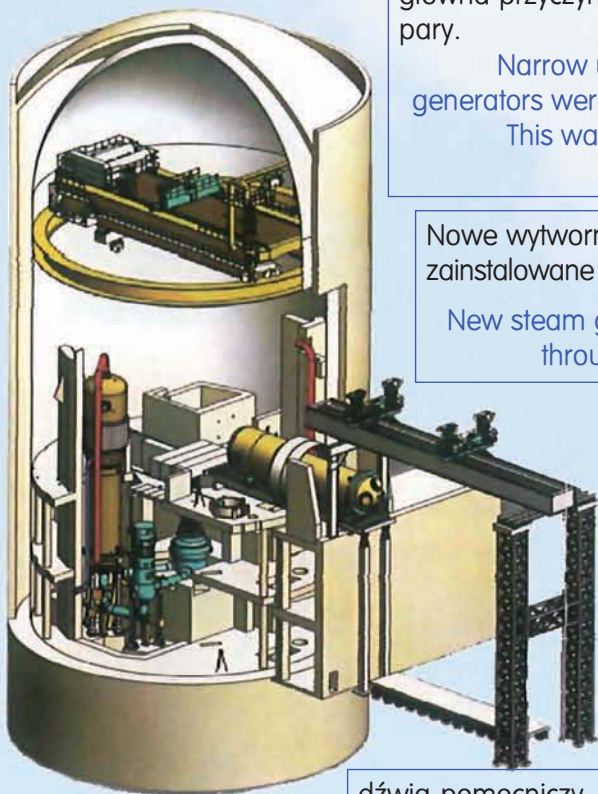
Narrow u-tubes in the old steam generators were found to be corroding. This was the main reason for its replacement.

Nowe wytwornice pary zostały zainstalowane poprzez specjalną śluzę

New steam generators were installed through the equipment hatch.



Nowa wytwornica pary
New steam generator



dźwig pomocniczy
auxiliary crane

Wymiana wytwornic pary zaowocowała:

- **zwiększeniem mocy** o 6,3% (42MW)
- **około 20% wzrostem rocznej produkcji** energii elektrycznej
- **zwiększeniem bezpieczeństwa**

The replacement of steam generators resulted in:

- **a power increase** of 6.3% (42 MW)
- **an approximate 20% increase in yearly production**
- **safety improvements**

2006

- Zaplanowana wymiana turbiny

Year 2006

- Turbine replacement is planned



Promieniowanie tła naturalnego

Background Radiation

Dawka promieniowania to miara napromieniowania. Wartość dawki pozwala powiązać efekt biologiczny, jaki promieniowanie wywiera na żywy organizm i jest do niego proporcjonalna*.

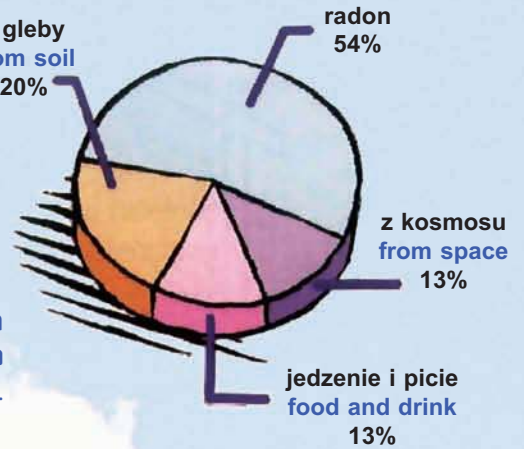
Radiation **dose** is a measure of irradiation. Biological effects are approximately proportional to it.

Jednostką dawki jest siwert (Sv).
The unit of dose is the sievert (Sv).

Sv = 1000 mSv (milisiwert)

Od zawsze jesteśmy narażeni na promieniowanie **ze źródeł naturalnych**.

We have always been exposed to radiation **from sources in the environment**.

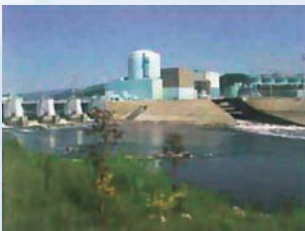


Roczna dawka ze **źródeł naturalnych w Słowenii wynosi od 2,5 do 2,8 mSv** (w Polsce trochę mniej), czyli nieco więcej niż średnia światowa (2,4 mSv), ze względu na silniejszy udział radonu.

The annual dose from **natural sources in Slovenia is 2.5 to 2.8 mSv**, slightly higher than the world average (2.4 mSv) due to a higher contribution from radon.



Roczna dawka ze źródeł sztucznych (medycyna, przemysł) wynosi od **0,4 do 1,5 mSv**.
The annual dose from artificial sources (medicine, industry) is **0.4-1.5 mSv**.



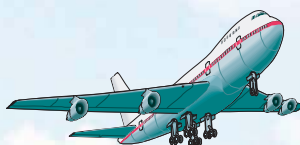
Roczna dawka z **elektrowni jądrowej Krsko** wynosi około **0,001 mSv**.

The annual dose from **Krsko NPP** is about **0.001 mSv**.



W Słowenii, całkowita dawka z **katastrofy w Czarnobylu** to **0,72 mSv**.
Całkowity efekt testów atomowych (1950–1970) to **7,2 mSv**.

In Slovenia, the total dose from the **Chernobyl accident** is **0.72 mSv**.
The total contribution from nuclear tests (1950-1970) is **7.2 mSv**.



Lot z Europy do Stanów jest źródłem dawki około **0,05 mSv**.

A **flight** from Europe to the USA results in a dose of about **0.05 mSv**.

* Czy małe dawki promieniowania są szkodliwe czy też nie, jest to przedmiotem naukowych sporów. Patrz na stronie następnej – wykres skutki biologiczne, a dawka. (Przyp.red.)

Wpływ promieniowania na organizmy żywe

Influence of Radiation on Living Beings

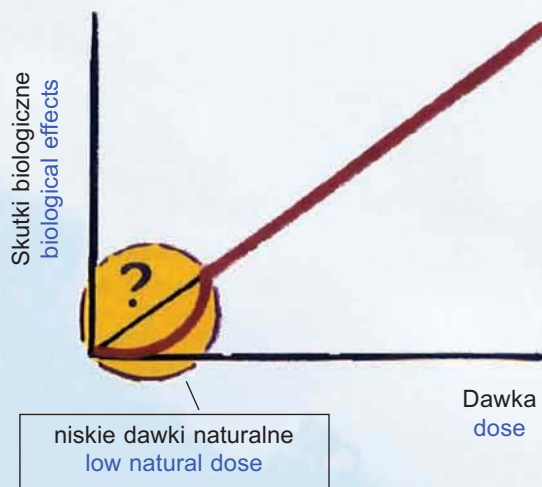
Promieniowanie może uszkodzić żywe komórki. To z kolei może spowodować uszkodzenie tkanki, organu lub nawet całego organizmu.

Radiation can damage living cells. That can cause damage to the tissue, the organ or the whole organism.



Skutki biologiczne zależą od rodzaju promieniowania, dawki, czasu ekspozycji, rozłożenia dawki w ciele oraz wrażliwości organizmu.

Biological effects depend on the type of radiation, dose, duration of exposure, distribution of dose in the body and sensitivity of the organism.



Nie ma pewności co do skutków spowodowanych **bardzo niskimi dawkami naturalnymi**. Jest możliwe, że są one zupełnie nieszkodliwe (a nawet konieczne do życia).

We are not sure about the effects of **very low natural doses**. It is possible, that they are not harmful at all.

Ograniczenia ekspozycji na promieniowanie

Limitation of Radiation Exposure

ograniczenie określone prawem	Dawka nie może być wyższa.
legal limit	Dose may never be higher.
optymalizacja	Staramy się zredukować dawkę.
optimization	We try to reduce dose.

Nie opłaca się dalej redukować dawki.
It is not worth reducing dose further.

niska dawka
low dose

Korzyści płynące z używania substancji promieniotwórczych muszą przewyższać szkodliwe skutki promieniowania!

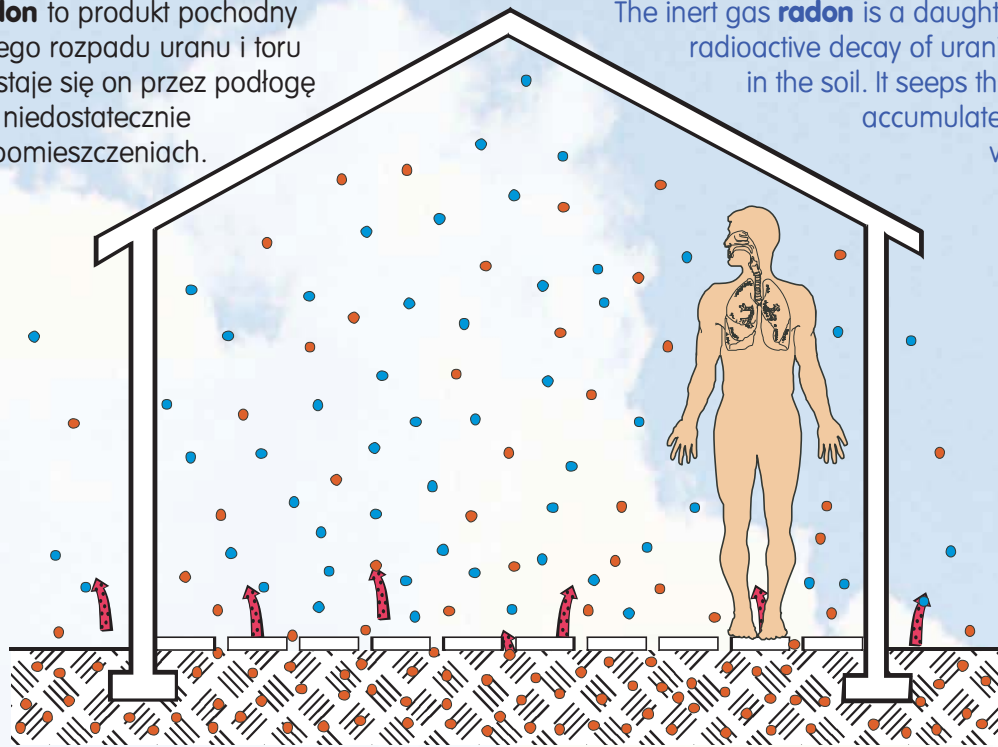
Benefits from the use of radioactive substances must be higher than the harmful effects of radiation!

Radon w budynkach mieszkalnych

Radon in Homes

Obojętny gaz **radon** to produkt pochodny promieniotwórczego rozpadu uranu i toru w glebie. Przedostaje się on przez podłogę i gromadzi się w niedostatecznie wentylowanych pomieszczeniach.

The inert gas **radon** is a daughter product of the radioactive decay of uranium and thorium in the soil. It seeps through floors and accumulates in insufficiently ventilated rooms.

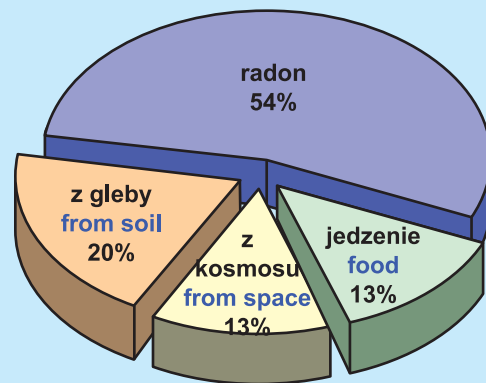


Produkty rozpadu radonu pozostają zawieszane w powietrzu. Wchłonięte, zwiększają ryzyko raka płuc.*

Radon decay products remain suspended in the air. When inhaled they increase the risk of lung cancer.

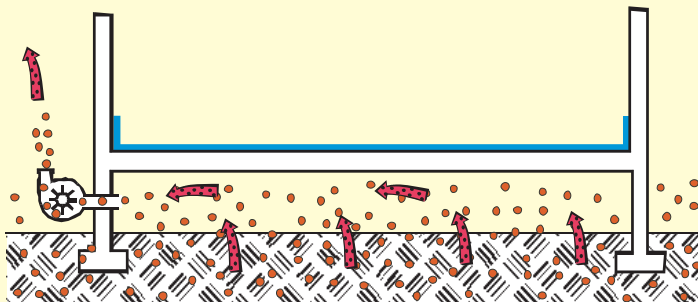
Promieniowanie będące skutkiem obecności radonu oraz produktów jego rozpadu stanowi największy odsetek (około 50%) promieniotwórczości naturalnej tła.

Radiation from radon and its decay products represents the biggest share (approximately 50%) of natural background radiation.



Stężenie radonu w budynkach mieszkalnych w Polsce wynosi około 49 Bq/m³.

Radon concentration indoors in Poland is around 49 Bq/m³.



Gdy stężenie radonu powoduje roczną dawkę wyższą niż 6 mSv, organy ochrony radiologicznej zalecają środki zaradcze (np. wypompowanie powietrza spod podłogi).

Should the radon concentration cause an annual dose higher than 6 mSv, the Radiation Protection Administration recommends remedial measures (e.g. pumping of air from under the floor).

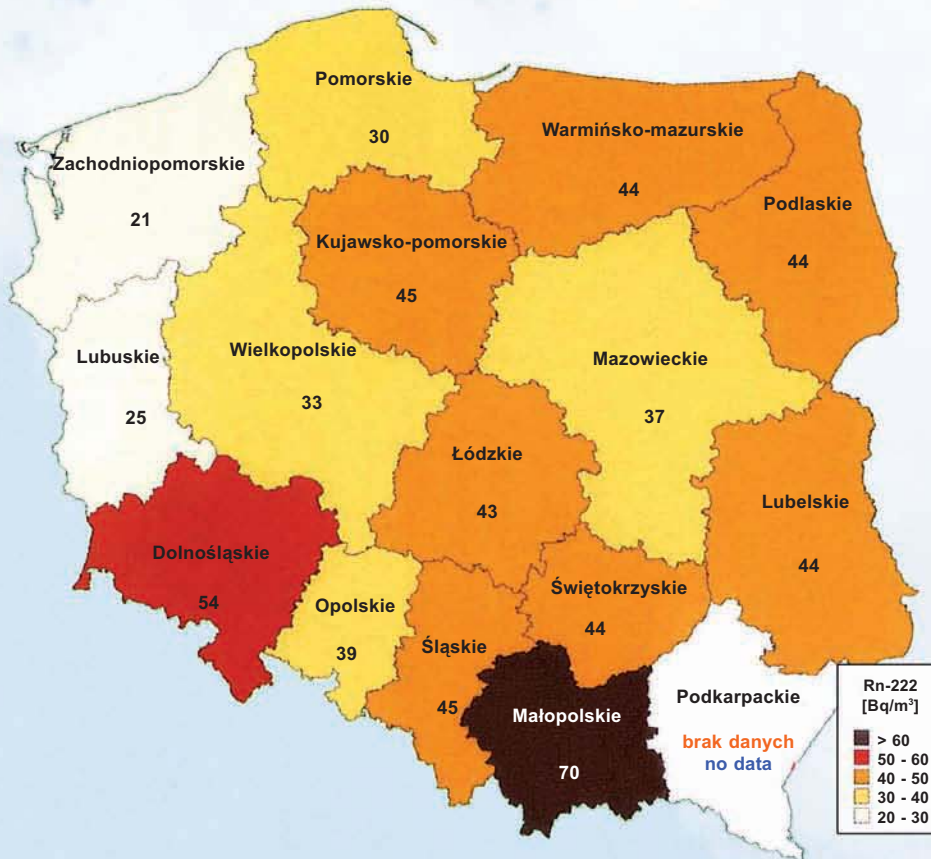
* Czy wdychanie promieniotwórczego radonu jest szkodliwe dla zdrowia czy nie, jest to przedmiotem naukowych sporów (Przyp.red.)

Stężenie radonu w budynkach mieszkalnych

Radon Concentration in Homes

Stężenie radonu jest nieco wyższe w południowej części Polski, gdzie występuje w dużych ilościach przepuszczalna skała wapienna

Radon concentration is slightly higher in the southern parts of Poland.



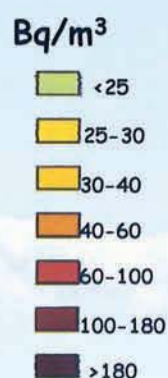
Źródło/Source: Radiologiczny Atlas Polski/Radiation Atlas of Poland

Średnie stężenia radonu w budynkach mieszkalnych pokazane zostały na mapach.

Average radon concentrations indoors are shown on the maps.

Rzeczywiste stężenia radonu oraz produktów jego rozpadu zależą od pory roku, pogody oraz wentylacji pomieszczeń.

The actual concentrations of radon and its decay products change and depend on the season, the weather and ventilation of rooms.



Źródło/Source: NRPB, Wielka Brytania

Zastosowania promieniotwórczości

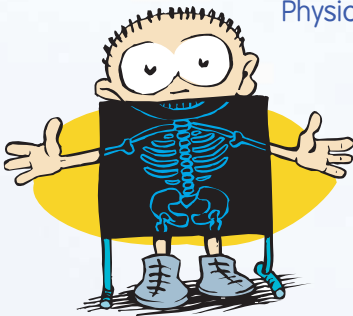
Uses of Radiation

Medycyna Medicine

Diagnostyka Diagnosis

Lekarze mogą „zajrzeć” do wnętrza naszego ciała dzięki aparatom Rentgena.

Physicians can „see” inside our body using **X-ray** machines.



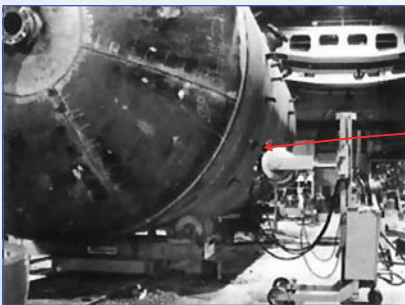
Leczenie Treatment

Rak może być leczony napromieniowaniem.

Cancer can be treated by irradiation.



Przemysł Industry



Wykrywanie wad w metalu

Detection of defects in metals

Oraz: mierniki gęstości i wilgoci, piorunochrony aktywne, wykrywanie wycieków w kanalizacji, pomiar poziomu napelnienia zbiorników, określenie wieku, sterylizacja jedzenia...

And more: density and moisture meters, lightning conductors, leak detection in sewage systems, level measurements in tanks, age determination, sterilization of food...



Liczenie i ważenie na przenośniku taśmowym

Counting and weighing on conveyor belts

Nauka Science

Badania z różnych dziedzin prowadzące do polepszenia życia codziennego w niedalekiej i odległej przyszłości.

Research in different fields leading to better everyday life in the near or more distant future.



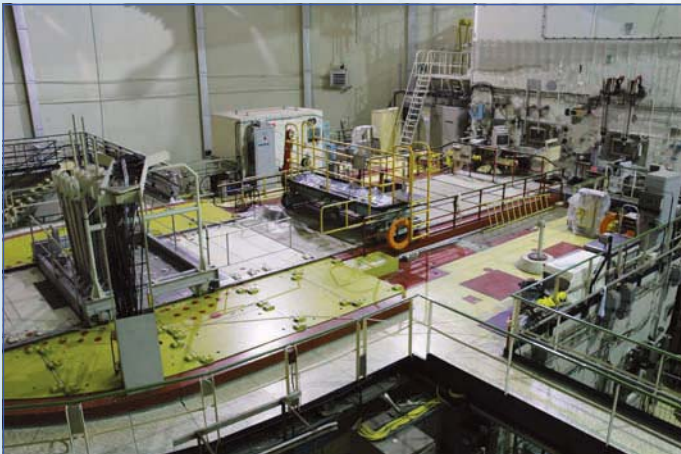
Reaktor MARIA

Instytut Energii Atomowej POLATOM w Świerku pod Warszawą prowadzi badania naukowe, prace rozwojowe i stosowane w zakresie fizyki i techniki reaktorów jądrowych.

The Nuclear Energy Institute POLATOM in Świerk at the outskirts of Warsaw conducts development and applied research in the field of physics and technology of nuclear reactors.

Znajduje się tutaj jedyny w Polsce jądrowy reaktor badawczy „Maria”.

There is the only Polish research reactor „Maria”.



Polski reaktor „Maria” jest obecnie jednym z najlepszych reaktorów w Europie.

The Polish „Maria” reactor is presently one of the best European reactors.

Pierwszy doświadczalny reaktor jądrowy w Polsce został uruchomiony w ówczesnym Instytucie Badań Jądrowych w Świerku już w 1958 roku.

The first Polish experimental nuclear reactor was opened in the then Nuclear Research Institute in Świerk already in 1958.

MARIA Reactor

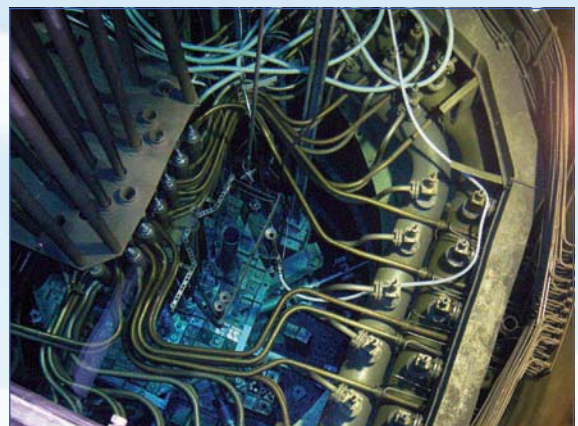


Drugi, obecnie eksploatowany reaktor „Maria”, został uruchomiony w 1974 roku. Jest to polski projekt, pomyślany jako reaktor wielozadaniowy.

The second, currently used „Maria” reactor was opened in 1974. It is a Polish project, designed as a multi task reactor.

Górną osłonę rdzenia reaktora jest warstwa wody w basenie reaktora o grubości 7 metrów.

The upper protection of the reactor core is constituted by a 7 meter water layer in the reactor tank.

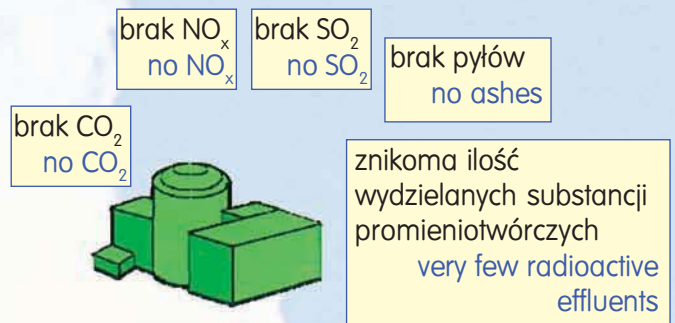


Elektrownia jądrowa Krsko a środowisko

Krsko Nuclear Power Plant and the Environment

Podczas normalnej pracy, elektrownia jądrowa niemal nie powoduje zanieczyszczania środowiska.

During normal operation, the nuclear power plant causes almost no pollution of the environment.



Elektrownia jądrowa wnosi do dawki rocznej około **0,001 mSv**, co stanowi około 1/3000 dawki tła naturalnego.

The nuclear power plant contributes about **0.001 mSv** to the annual dose which represents only around 1/3000 of the natural dose.

Gazy promieniotwórcze są przechowywane w specjalnych zbiornikach przez kilka lat. W tym okresie zmniejsza się ich radioaktywność.

Radioactive gases are held in special tanks for several years, and during this time their radioactivity decreases.

Poziom promieniotwórczości jest stale kontrolowany w kilku punktach wokół elektrowni jądrowej Krsko.

Radiation levels are permanently measured at a number of locations around Krsko NPP.



Stacja pomiarowa

Measuring station

Jedynym mierzalnym skutkiem działalności elektrowni jądrowej Krsko jest ogrzanie rzeki Sawy o kilka stopni Celsjusza. Tradycyjna elektrownia cieplna powodowałaby taki sam skutek.

The only measurable environmental impact of the Krsko NPP is heating of the river Sava by a few °C. A conventional thermal power plant would have the same impact.

Bezpieczeństwo jądrowe

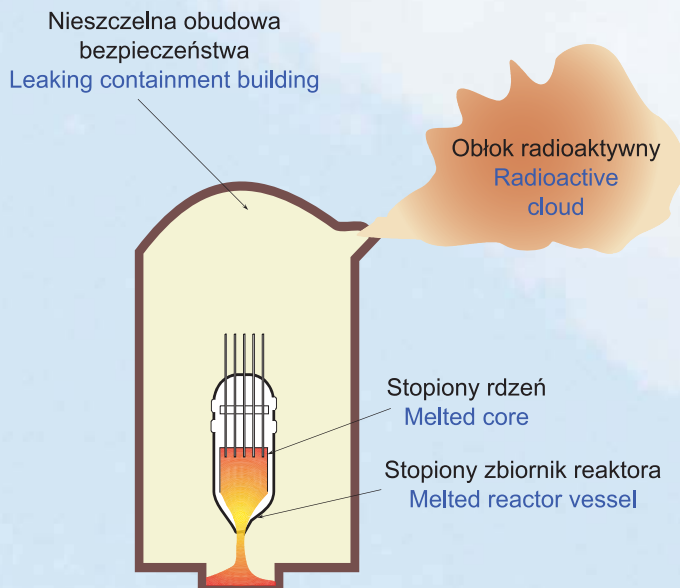
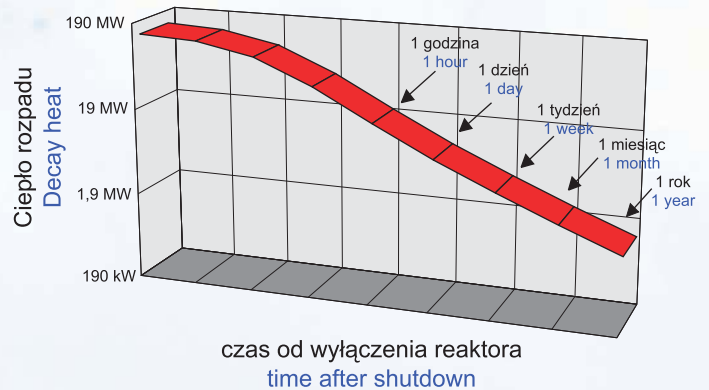
Nuclear Safety

Jakie niebezpieczeństwo powstaje w elektrowni jądrowej?

- Podczas pracy reaktora, wydzielają się **substancje promieniotwórcze** niebezpieczne dla organizmów żywych.
- Nawet po zatrzymaniu reakcji łańcuchowej, z paliwa jądrowego wydziela się **ciepło rozpadu promieniotwórczego** (ciepło powyłączeniowe).

What dangers exist in a NPP?

- During reactor operation, **radioactive substances** dangerous for living beings are produced.
- Even after the chain reaction is stopped, **decay heat** is released from the nuclear fuel.



Najgorszy możliwy scenariusz to **stopienie się rdzenia reaktora** i uwolnienie do środowiska substancji promieniotwórczych.

The worst-case accident scenario would be a **meltdown of the reactor** core and a release of radioactive substances into the environment.

Kiedy

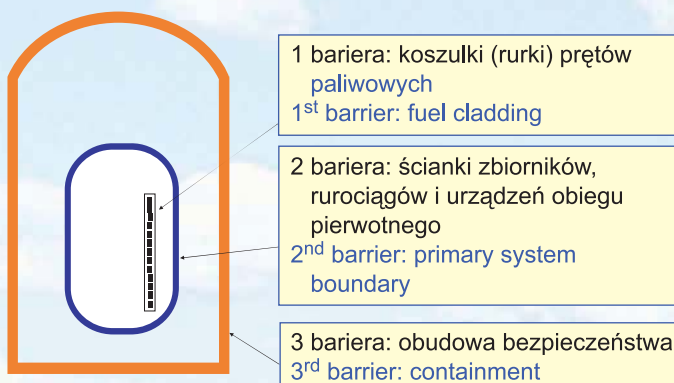
- **moc** reaktora **jest pod kontrolą**
- zapewnione jest **chłodzenie paliwa**
- zapewnione jest **szczelne odgrodenie substancji promieniotwórczych**

elektrownia jądrowa jest **bezpieczna**

When

- the reactor **power is under control**,
- **cooling of the fuel** is ensured, and
- **confinement of radioactive substances** is also ensured,

the nuclear power plant **is in a safe condition**.

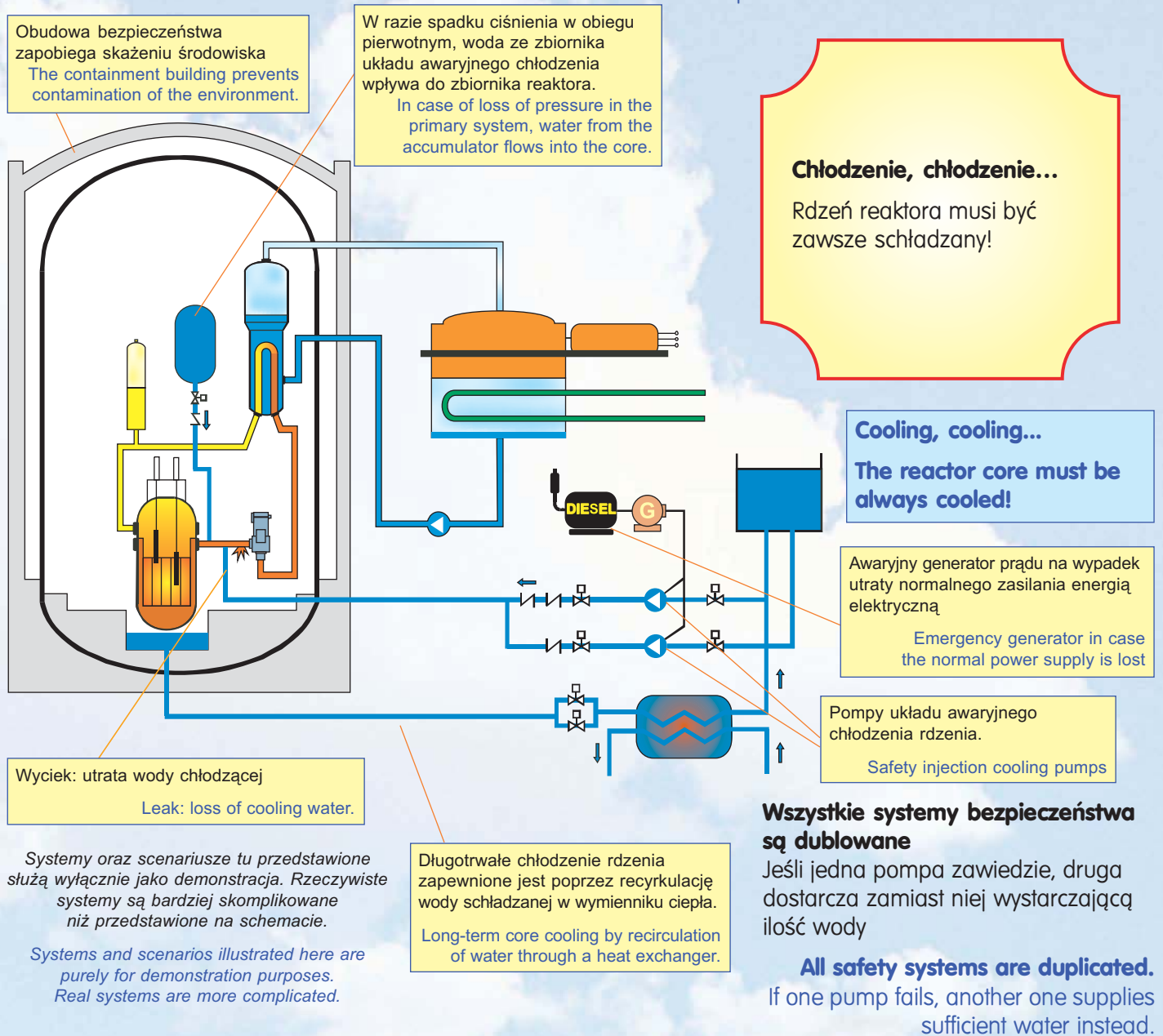


Trzy niezależne bariery bezpieczeństwa zapobiegają uwolnieniu się substancji promieniotwórczych do środowiska.

Three independent safety barriers prevent the escape of radioactive substances into environment.

Systemy bezpieczeństwa

Ich rolą jest złagodzić konsekwencje awarii i zapobiec skażeniu środowiska



Wszystkie systemy bezpieczeństwa są dublowane
Jeśli jedna pompa zawiedzie, druga dostarcza zamiast niej wystarczającą ilość wody

All safety systems are duplicated.
If one pump fails, another one supplies sufficient water instead.

Więcej niż połowa całkowitych kosztów inwestycji elektrowni jądrowej pochłania zapewnienie bezpieczeństwa jądrowego.

More than one-half of the total investment in the NPP is in nuclear safety.

Kultura bezpieczeństwa

Jeszcze ważniejsza od rozwiązań technicznych elektrowni jądrowych jest **kultura bezpieczeństwa** jej pracowników:

- Dla bezpieczeństwa ważne są wszystkie działania
- Cokolwiek robisz, zastanów się, jaki to będzie miało wpływ na bezpieczeństwo.
- Nigdy nie pozwól sobie na przekonanie, że jesteś nieomylny.
- Nigdy nie bądź w pełni zadowolony z siebie, pomyśl:
 - czy niczego nie przeoczyłem?
 - czy to co zrobiłem mogłem zrobić lepiej?



Safety Culture

More important than the technical facilities of the nuclear power plant is the **safety culture** of employees:

- All activities are important for safety.
- Whatever you do, consider how it will impact on safety.
- Never allow yourself to become convinced that you cannot make a mistake.
 - Never become complacent – ask:
 - Have I overlooked anything?
 - Could that have been done better?

Three Mile Island (USA)



Widok na elektrownię

General view of the plant

Przebieg wypadku

- Awaria rozpoczęła się od uszkodzenia urządzenia, które spowodowało utratę chłodziwa reaktora poprzez częściowo otwarty zawór bezpieczeństwa
- Operatorzy źle zinterpretowali zdarzenie i wyłączyli prawidłowo działający awaryjny system chłodzenia
- Utrata chłodziwa reaktora spowodowała stopienie się rdzenia
- Nieszkodzony zbiornik reaktora utrzymał rdzeń w szczelnym zamknięciu
- Niewielka ilość substancji promieniotwórczych przedostała się do obudowy bezpieczeństwa
- Awaria nie spowodowała skażenia promieniotwórczego środowiska ani ludności.

Konsekwencje tej awarii były o wiele mniej poważne niż w przypadku Czarnobyla, ponieważ wszystkie zachodnie elektrownie jądrowe zostały zaprojektowane tak, aby spełnić o wiele ostrzejsze standardy bezpieczeństwa

Consequences of the TMI accident were incomparably milder than at Chernobyl, because all western NPPs are designed to much stricter safety criteria.

We wszystkich podobnych elektrowniach na świecie podjęto odpowiednie działania mające na celu uniknięcie podobnych awarii w przyszłości.

In all similar plants in the world, appropriate measures were taken to prevent a similar accident from happening again.

Three Mile Island (USA)

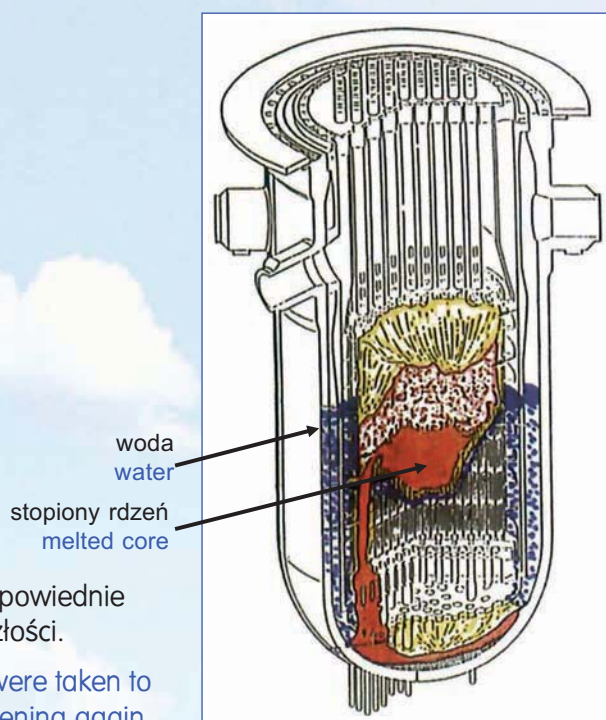
Ta awaria zdarzyła się 28 marca 1979 roku w elektrowni Three Mile Island w Pensylwanii.

This accident occurred on 28 March 1979, at Three Mile Island in Pennsylvania.

Course of the accident

- The accident started with an equipment failure which caused a loss of reactor coolant through a partly-opened safety valve.
- The operators misinterpreted the accident and switched off the properly-working emergency core cooling system.
- A loss of reactor coolant caused core melting.
- The undamaged reactor vessel contained the damaged core.
- A small amount of radioactive material escaped into the containment building.
- The accident had no radiological effects on the environment or the population.

Stopiony rdzeń w reaktorze elektrowni TMI Melted core into the TMI reactor

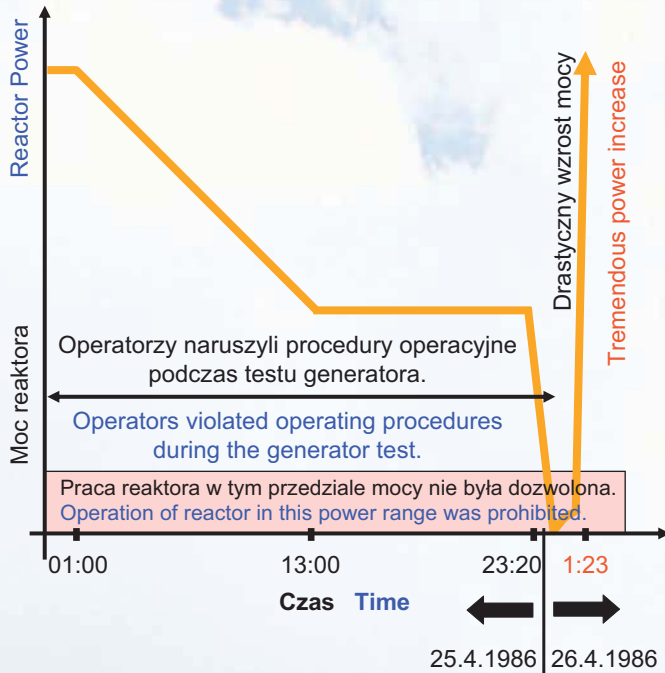


Czarnobyl (Związek Radziecki/Ukraina)

Chernobyl (Soviet Union / Ukraine)

26 kwietnia 1986 roku czwarty reaktor Czarnobylskiej elektrowni uległ najgorszej na świecie awarii jądrowej.

On April 26, 1986, the worst nuclear accident so far occurred at the Chernobyl 4 NPP in the Ukraine.



Bezpośrednią przyczyną wypadku było **złamanie procedur operacyjnych**.

Operatorzy doprowadzili reaktor do stanu niestabilności, moc drastycznie wzrosła, co spowodowało wybuch oraz pożar grafitowego moderatora, uwalniając duże ilości substancji promieniotwórczych na dużym obszarze. Elektrownia w Czarnobylu nie miała obudowy bezpieczeństwa.

The direct cause of the accident was a **violation of operating procedures**.

The operators brought the reactor into an unstable state, the power drastically increased, this caused an explosion and fire in the graphite moderator, releasing large quantities of radioactive material over a wide area. The Chernobyl NPP did not have a containment.

Główne przyczyny awarii:

- wadliwy projekt reaktora
- niedostateczna kultura bezpieczeństwa

Main causes of the accident:

- design of the reactor
- poor safety culture

Projekty elektrowni jądrowych z reaktorami innych typów nie dopuszczają, aby reaktor utracił stabilność, jak to miało miejsce w Czarnobylu.

The design of PWRs does not allow the reactor to become similarly unstable as was the case in Chernobyl.



Ochronny „Sarkofag” zbudowano na ruinach reaktora.

The protection building – „Sarcophagus” which was built over the ruined reactor.

Konsekwencje awarii

- Jak dotąd, 47 ofiar śmiertelnych
- Około 6400 przypadków raka tarczycy zostało zdiagnozowanych u dzieci, z których 15 zmarło; pozostałe zostały wyleczone (wg raportu INSAG-MAEA).
- Oczekuje się, że około 4000 spośród 600 000 robotników oraz mieszkańców obszarów najbardziej skażonych umrze na raka i białaczkę spowodowane promieniowaniem (w tym 3% przypadków raka niemających związku z promieniowaniem czarnobylskim).*
- Poza 30-kilometrową strefę zamkniętą, poziom promieniowania powrócił do normy.

Consequences of the accident

- 47 people died so far.
- About 4000 cases of thyroid cancer among children were diagnosed, 9 died, others were cured.
- Among around 600000 emergency workers and residents of the most contaminated areas about 4000 deaths from radiation-induced cancer and leukemia are expected. This is about 3% of spontaneous cancers not caused by Chernobyl radiation.
- Except in the 30-kilometre exclusion area, the radiation levels are again mostly normal.

* Podana ilość ofiar wynika z obliczeń statystycznych opartych o kontrowersyjną hipotezę liniowej, bezprogowej zależności: dawka-skutek. Hipoteza ta jest przedmiotem naukowych sporów. (Przyp.red.)

Fukushima Daiichi (Japonia)

Elektrownia jądrowa w Japonii (właściciel – *Tokyo Electric Power Company*), posiadająca 6 bloków energetycznych – reaktory BWR o łącznej mocy 4 596 MW uległa awarii 11 marca 2011 spowodowanej falą tsunami wywołaną trzęsieniem ziemi o sile 9° w skali Richtera. Uszkodzenie systemów awaryjnego chłodzenia w blokach 1, 2, 3 i 4 spowodowało przegrzanie reaktorów (i prawdopodobne nadtopienie rdzeni) oraz wywołanie reakcji chemicznej uwalniającej wodór, którego wybuch zniszczył budynki reaktorów nie naruszając obudowy bezpieczeństwa. Zniszczeniu uległ basen wypalonego paliwa bloku 1.



Lokalnie na terenie elektrowni stwierdzono podwyższenie poziomu promieniowania. Na zewnątrz wydostały się promieniotwórcze izotopy jodu i ceszu ale ich zasięg był ograniczony. W promieniu powyżej 30 km zaobserwowano niewielkie podwyższenie poziomu tła promieniowania. W Międzynarodowej Skali Zdarzeń Jądrowych (International *Nuclear Event Scale* – *INES*) określającej stopień zagrożenia uznano, że awaria elektrowni odpowiada poziomowi 7 – wielka awaria. Local radiation levels were elevated on site.

Radioactive iodine and cesium isotopes were detected outside of reactors, but the range was limited. Slightly elevated background radiation levels were detected in an area of an over 30 km radius. On the International Nuclear Event Scale (INES) assessing the degree of endangerment, this event was judged to reach 7th degree (Major Accident).

Fukushima Daiichi (Japan)

Japanese nuclear power station (property of *Tokyo Electric Power Company*) consisting of 6 energy blocks – BWR reactors with combined power of 4 596 MW, damaged on 11.03.2011 by the tsunami wave following the 9 degree on Richter scale earthquake. The damage of emergency cooling systems in blocks 1, 2, 3, and 4 caused reactor overheating (probably with elements of core melting) and initiated a chemical reaction which resulted in release of hydrogen, whose explosion caused further damage to the reactor buildings, without, however, eroding the Primary Containment. Also damaged was the spent fuel pond in block 1.

There are no information's of accidents caused by radiation. The clearing up action is still under way, as well as investigations on nuclear power safety enhancement.

There are no information's of accidents caused by radiation. The clearing up action is still under way, as well as investigations on nuclear power safety enhancement.

Odpady promieniotwórcze

Radioactive Waste

Niemal każda działalność produkuje odpady.
 Specjalnym rodzajem odpadów są odpady promieniotwórcze.

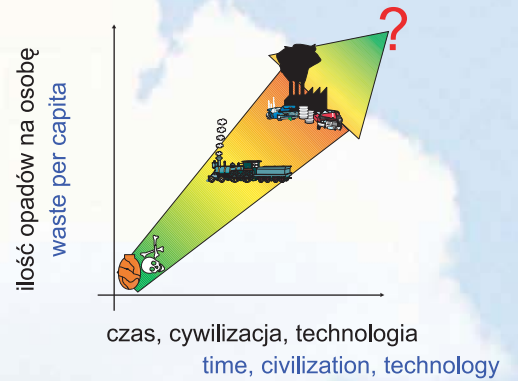
Almost every activity generates waste.
 Radioactive waste is a special kind of waste.



Źródła odpadów:
 Sources of waste:

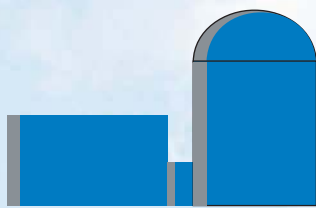


Ilość odpadów stale wzrasta.
 The amount of waste is constantly increasing.



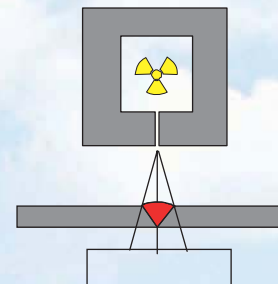
ŹRÓDŁA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

SOURCE OF RADIOACTIVE WASTE

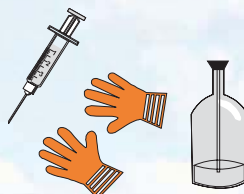


Elektrownie jądrowe
Nuclear Power Plant

Przemysł
Industry



Medycyna
Medicine



Badania
Research



Rodzaje odpadów promieniotwórczych

Types of Radioactive Waste

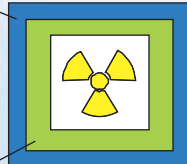
Odpady o wysokim stopniu promieniotwórczości (wysoko aktywne)

- wypalone paliwo z elektrowni jądrowych lub
- jego produkty po przerobieniu w zakładach przerobu paliwa wypalonego

High level waste

- spent fuel from Nuclear Power Plants or
- its products after reprocessing

Chłodzenie
Cooling



Ochrona przed promieniowaniem
Radiation shield

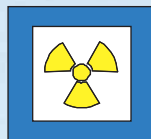
Czas, po jakim odpady przestają być promieniotwórcze

Time after which they are not radioactive anymore

> 10 000 lat
> 10 000 years

Odpady o średnim stopniu promieniotwórczości (średnio aktywne)

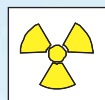
Intermediate level waste



300 lat
300 years

Odpady o niskim stopniu promieniotwórczości (nisko aktywne)

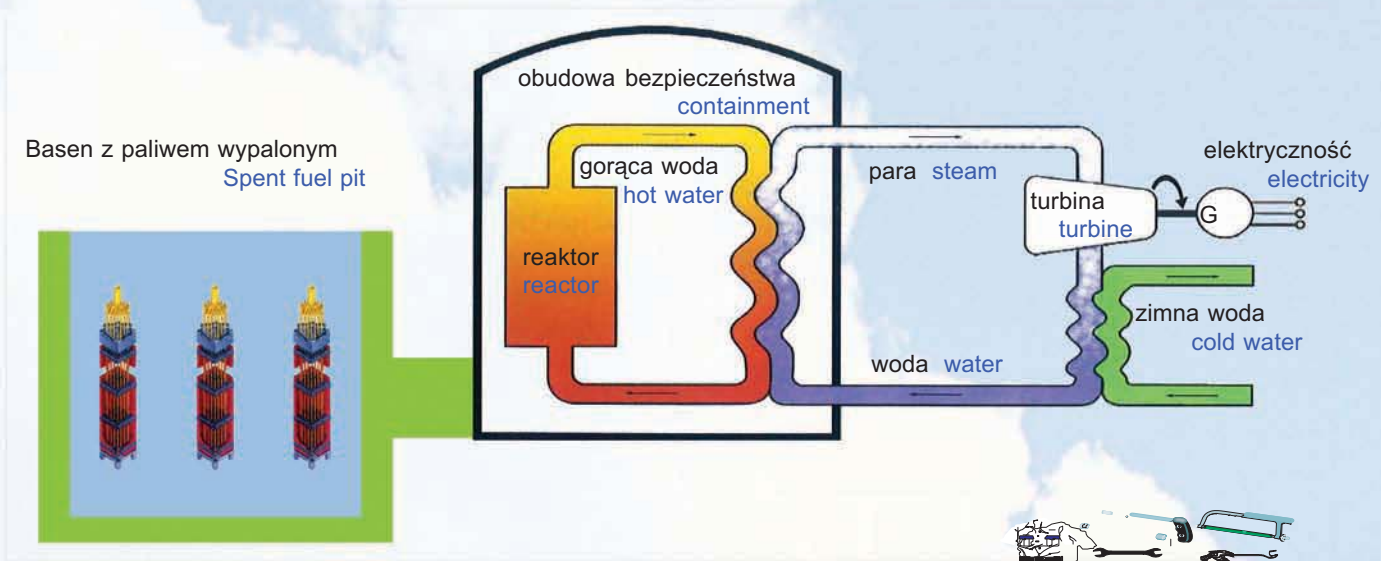
Low level waste



300 lat
300 years

Odpady promieniotwórcze w elektrowni jądrowej

Radioactive Waste in a Nuclear Power Plant



Odpady o wysokim stopniu promieniotwórczości pochodzą z paliwa wypalonego.

High level waste consists of spent fuel elements.



Odpady o średnim stopniu promieniotwórczości pochodzą z urządzeń czyszczących.

Intermediate level waste comes from cleaning devices.

Odpady o niskim stopniu promieniotwórczości powstają przede wszystkim podczas prac remontowych i konserwacyjnych.

Low level waste is mainly generated during maintenance work.

Odpady z elektrowni jądrowej Krsko (w m³)
Waste from Krsko NPP in m³:

	Nisko i średnio aktywne Low & Intermediate	Wysoko aktywne High level
eksploatacja elektrowni (40 lat) operation (40 years)	3 500	250
likwidacja elektrowni decommissioning	13 000	–

Składowanie odpadów promieniotwórczych

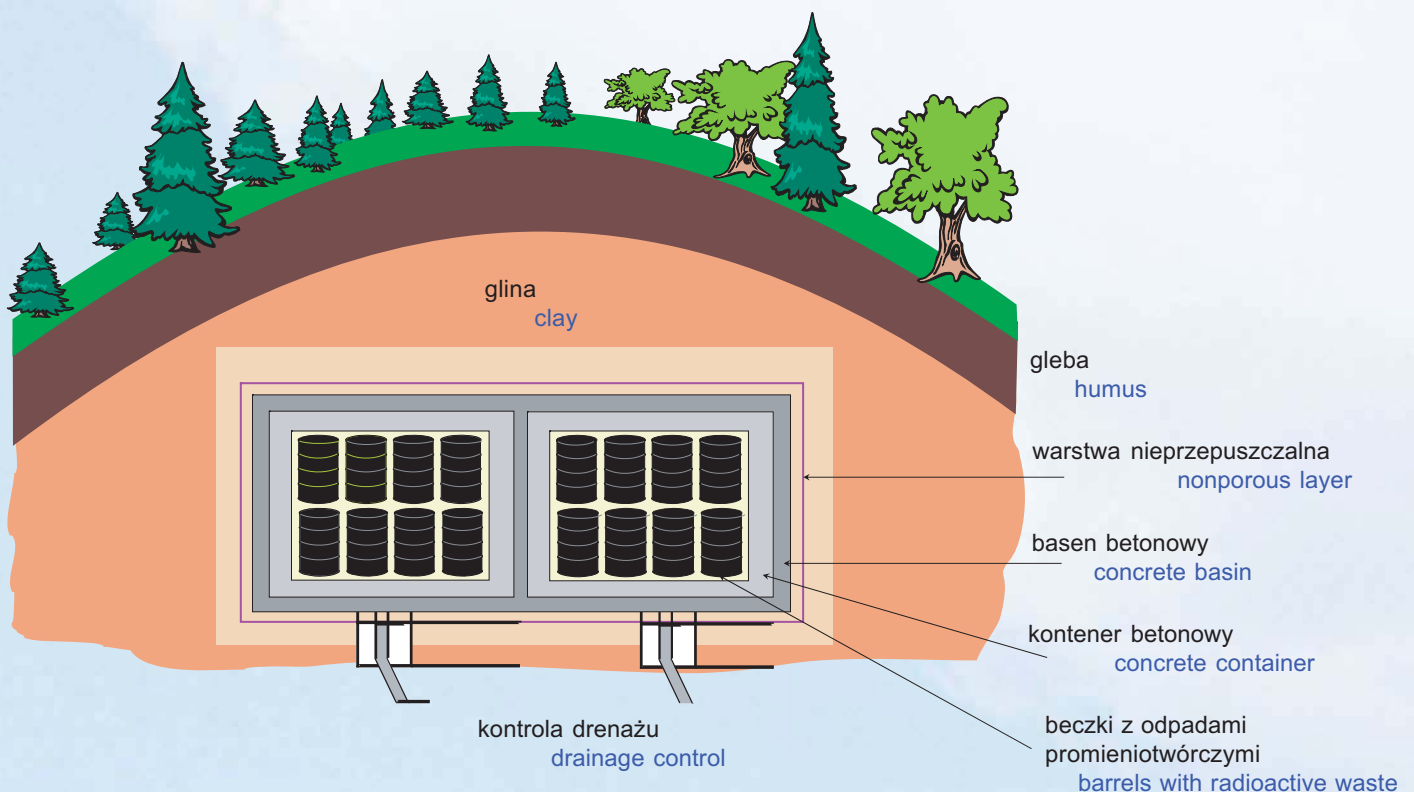
Disposal of Radioactive Waste

Skoro już mamy odpady promieniotwórcze, trzeba się nimi zająć. Można je unieszkodliwić na kilka sposobów:

- składowisko znajdujące się tuż pod powierzchnią ziemi
- składowisko podziemne znajdujące się wiele dziesiątków metrów pod ziemią

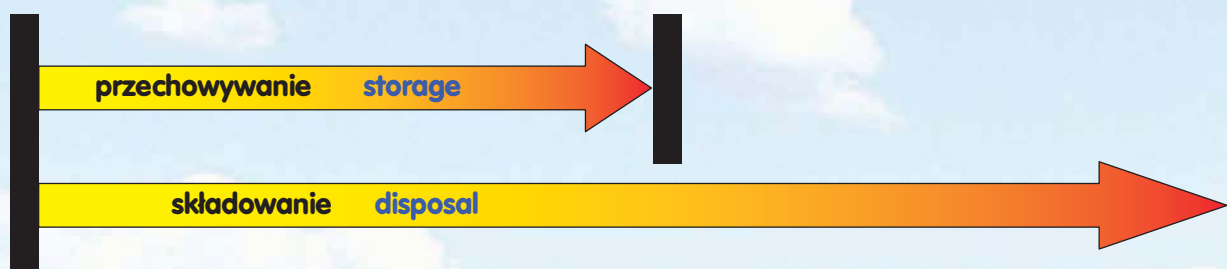
Since we already have radioactive waste, we need to take care of it. There are several methods of disposal:

- surface repository is located just below surface
- underground repository is located several tens of meters below the surface



Największe zagrożenie jako nośnik substancji promieniotwórczych stanowi woda, dlatego nie może ona wejść w kontakt z odpadami.

Water is the biggest as a carrier of radioactive substances, therefore it must not come into contact with the waste.



Przechowywanie: tymczasowe magazynowanie przez pewien okres

Składowanie: stałe usunięcie ze środowiska

Storage: interim depository for certain time

Disposal: permanent removal from the environment

Zasada wielu barier

The Multiple Barrier Principle

Odpady są zamykane w szczelnych pojemnikach i zakopane w glinie lub podobnych, nieprzepuszczalnych substancjach, aby nie mogły wejść w kontakt z podziemnymi wodami i dostać się do biosfery.

The waste will be enclosed in heavy casks and buried in clay or similar nonporous substances to ensure it will never come into contact with underground water and thus obtain access to the biosphere.

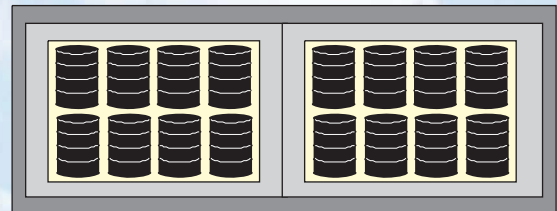
Pierwsza bariera
The first barrier



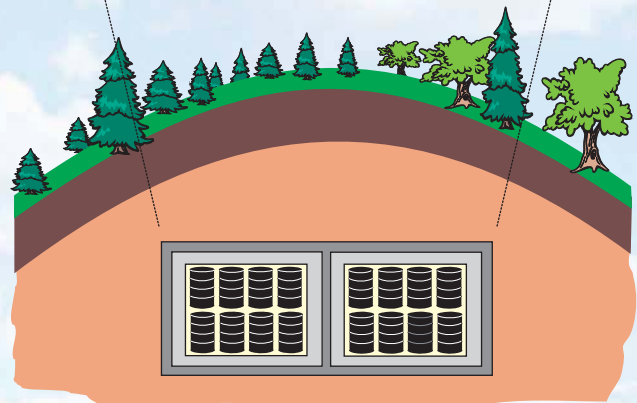
Druga bariera
The second barrier



Trzecia bariera
The third barrier

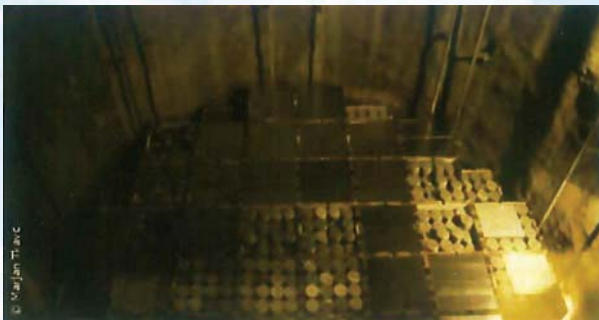


Czwarta bariera
The fourth barrier



W składowisku nie ma działających urządzeń, więc nic nie może się popsuć. Na powierzchni ziemi ponad składowiskiem nie występuje wykrywalny wzrost promieniowania.

There are no active devices in the repository, therefore nothing can go wrong. There is no detectable increase in radiation on the surface above the repository.



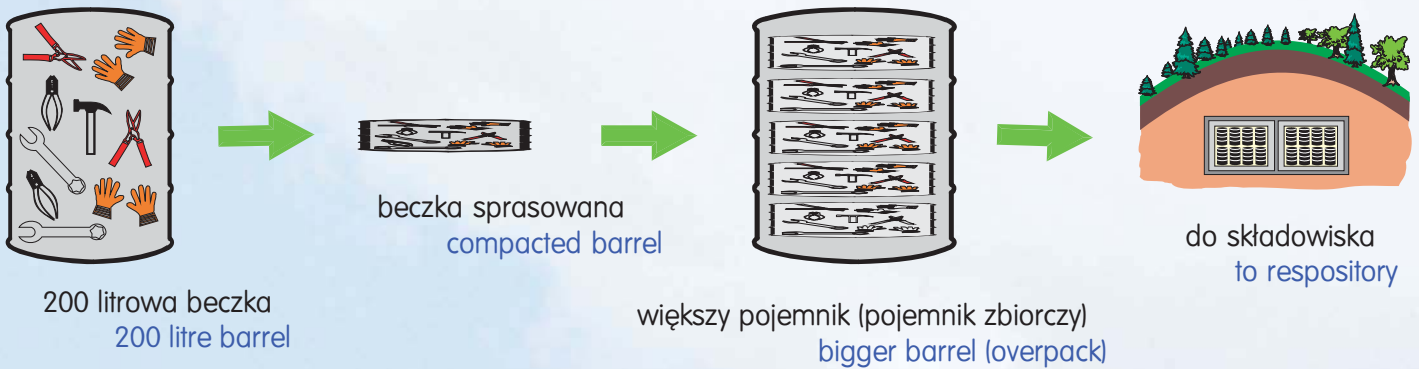
Składowisko w Finlandii Repository in Finland

Składowanie odpadów nisko i średnio aktywnych

Disposal of Low and Intermediate Level Waste

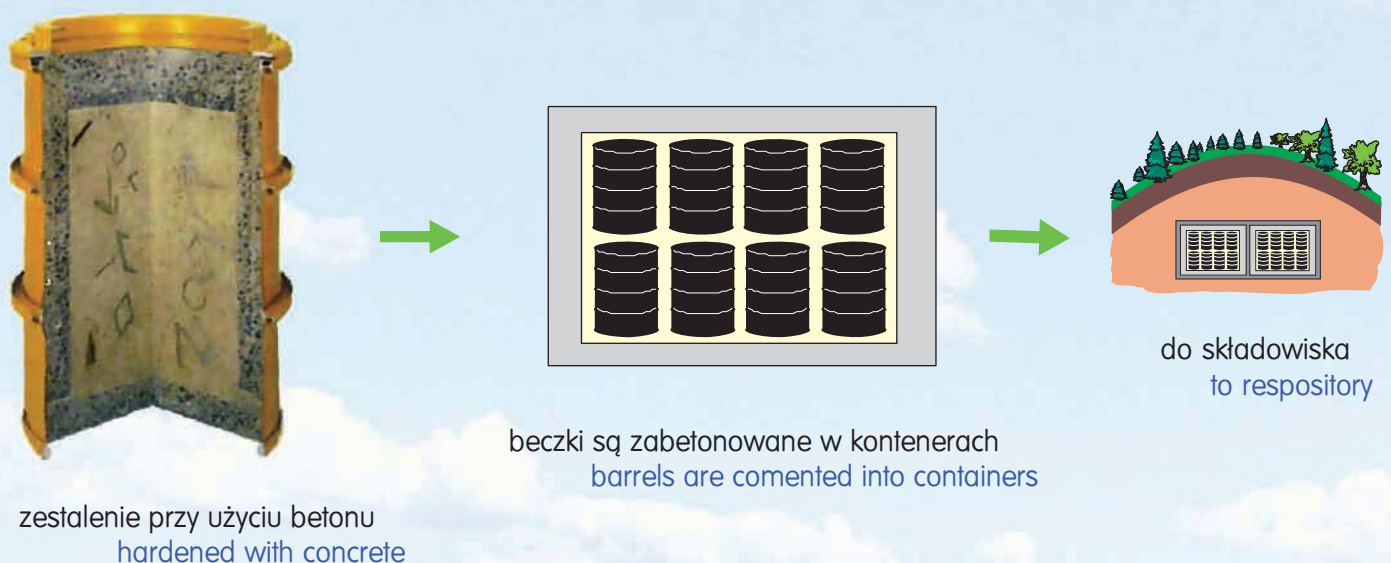
Przygotowanie odpadów nisko aktywnych

Preparation of low level waste



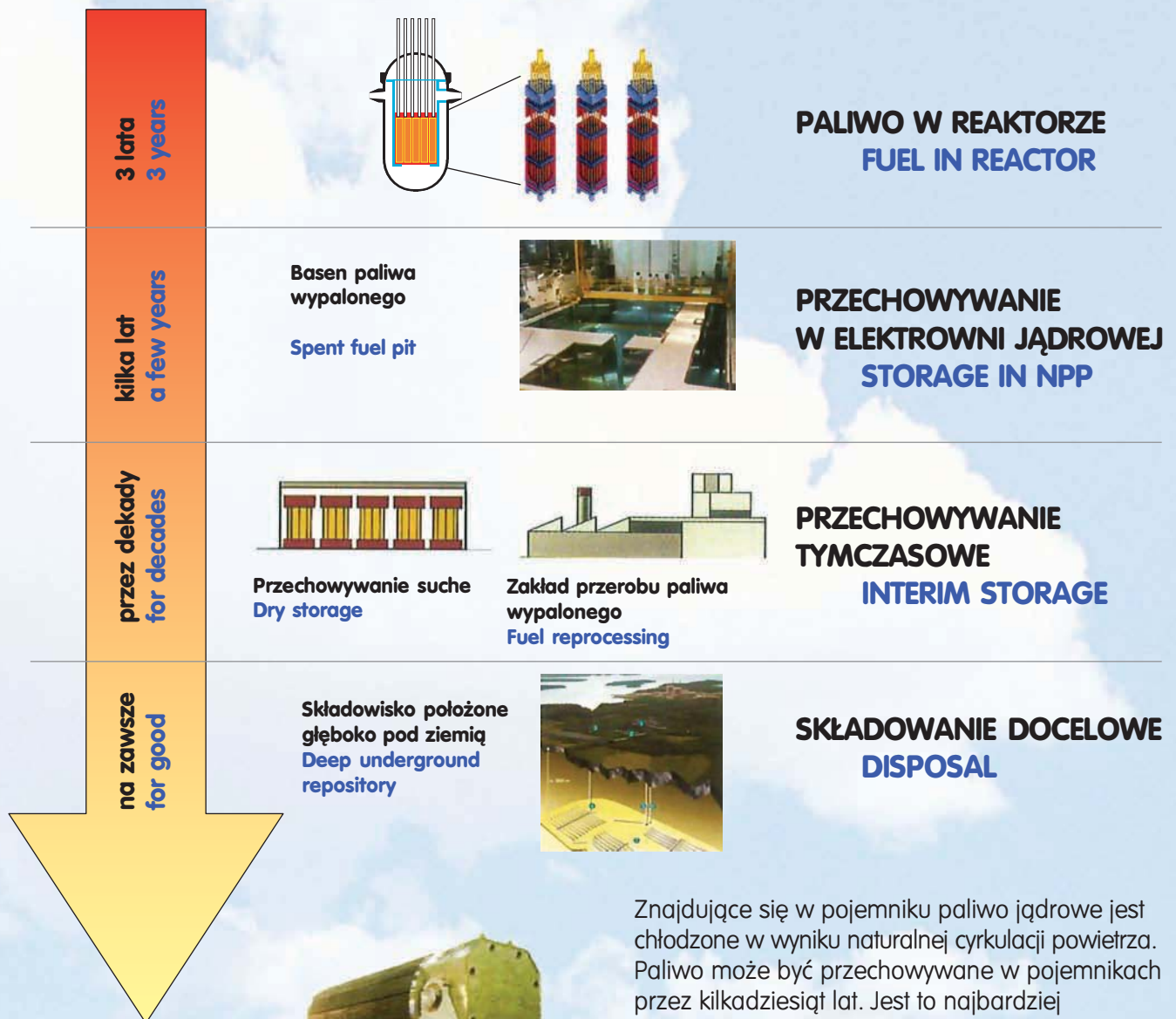
Przygotowanie odpadów średnio aktywnych

Preparation of intermediate level waste



Postępowanie z odpadami wysoko aktywnymi

Handling of High Level Waste



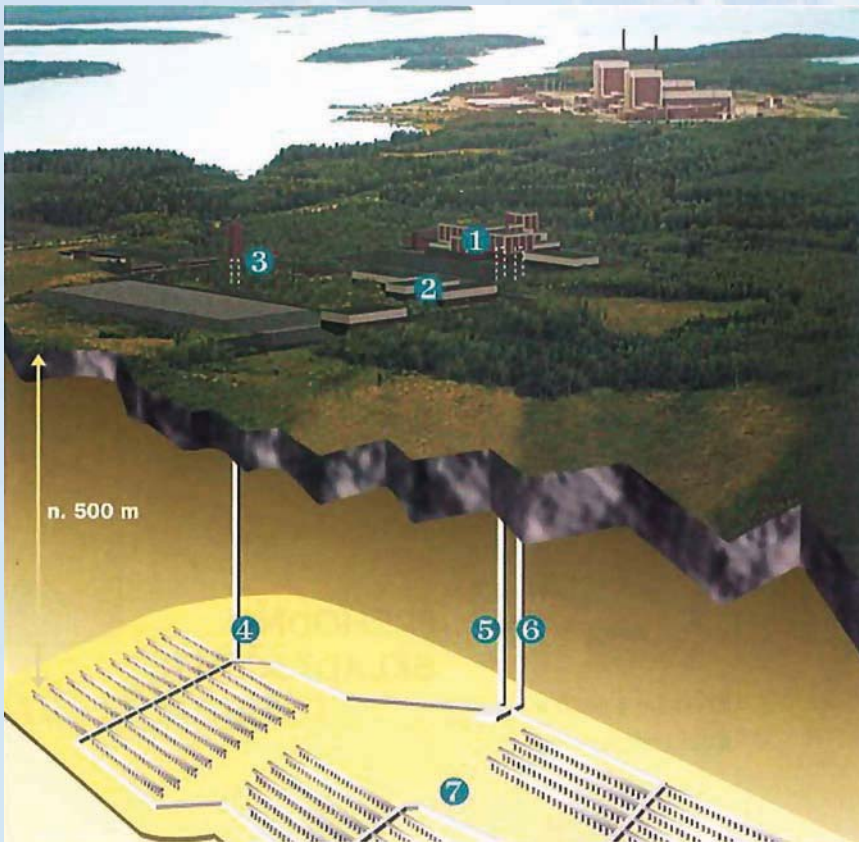
Znajdujące się w pojemniku paliwo jądrowe jest chłodzone w wyniku naturalnej cyrkulacji powietrza. Paliwo może być przechowywane w pojemnikach przez kilkadziesiąt lat. Jest to najbardziej prawdopodobne rozwiązanie dla przechowywania tymczasowego paliwa wypalonego w Słowenii (a także i w wielu innych krajach).
 Within the cask, nuclear fuel is cooled by the natural circulation of air. The fuel may be stored in casks for a few decades. This is the most probable solution for interim storage of spent fuel in Slovenia.

Te same pojemniki mogą być użyte do transportu paliwa wypalonego. Pojemniki zostały zaprojektowane tak, aby nie uległy zniszczeniu nawet w razie najgorszych wypadków – tak jak ten pokazany po prawej.
 The same casks can be used for transport of spent fuel. The casks are designed to survive the worst possible accidents, such as the one shown here.



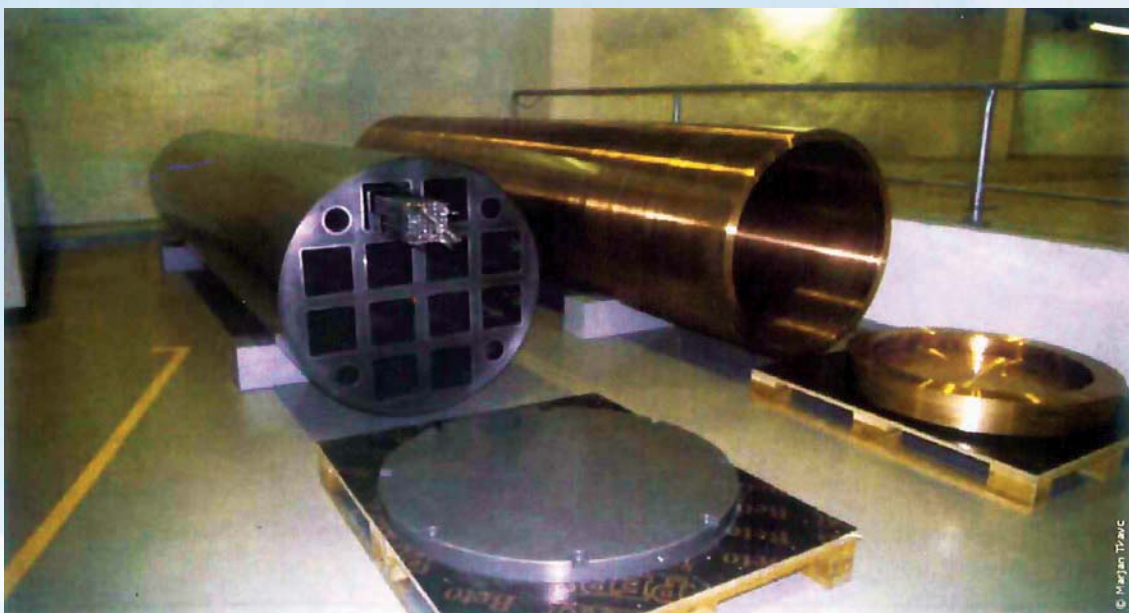
Składowanie docelowe wypalonego paliwa jądrowego

Final Disposal of Spent Nuclear Fuel



- 1 Instalacja napełniania kapsuł
Capsule filling facility
- 2 Magazyn
Storage
- 3 Szyby powierzchniowe
Surface shafts
- 4 Szyb pomocniczy
Auxiliary shaft
- 5 Szyb transportowy
Transport shaft
- 6 Szyb osobowy
Personnel shaft
- 7 Szyby i chodniki składowania docelowego kapsuł
Disposal shafts

Podziemne składowisko odpadów wysoko aktywnych w Finlandii (w budowie)
High level waste repository in Finland (under construction)



Kapsuła do składowania paliwa wypalonego. Powłoka zewnętrzna jest zrobiona z miedzi (Finlandia).

Capsule for spent fuel disposal. The outer shell is made of copper (Finland).

Odpady promieniotwórcze w Słowenii

Radioactive Waste in Slovenia

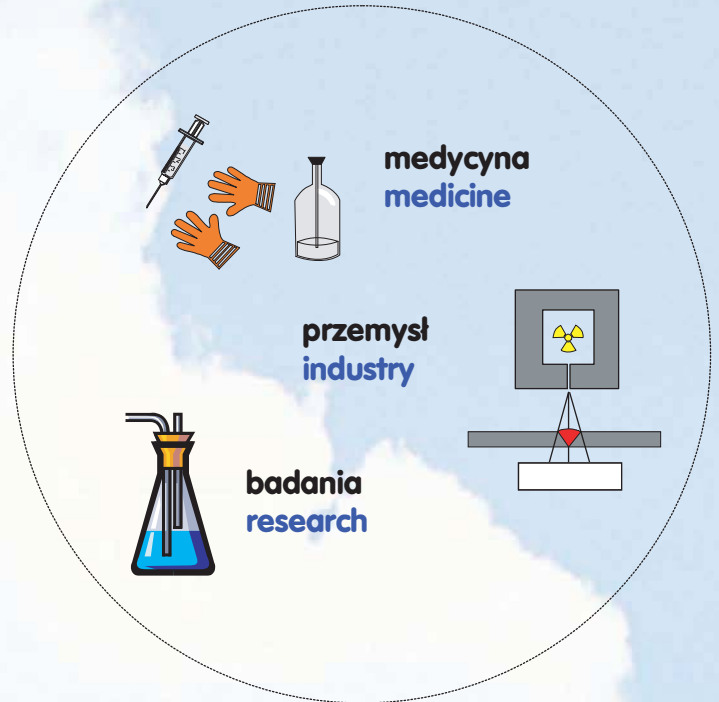


Elektrownia jądrowa Krsko
Krsko Nuclear Power Plant



Odpady o wysokim stopniu promieniotwórczości
High level waste

Odpady o niskim i średnim stopniu promieniotwórczości
Low & intermediate level waste



Odpady nisko i średnio aktywne

Low & intermediate level waste

2-3 m³/rocznie
2-3 m³/year

Magazynowanie w elektrowni Krsko:
Storage in Krsko NPP:



Basen na paliwo wypalone (6m³/rocznie)
Spent fuel pit (6 m³/year)

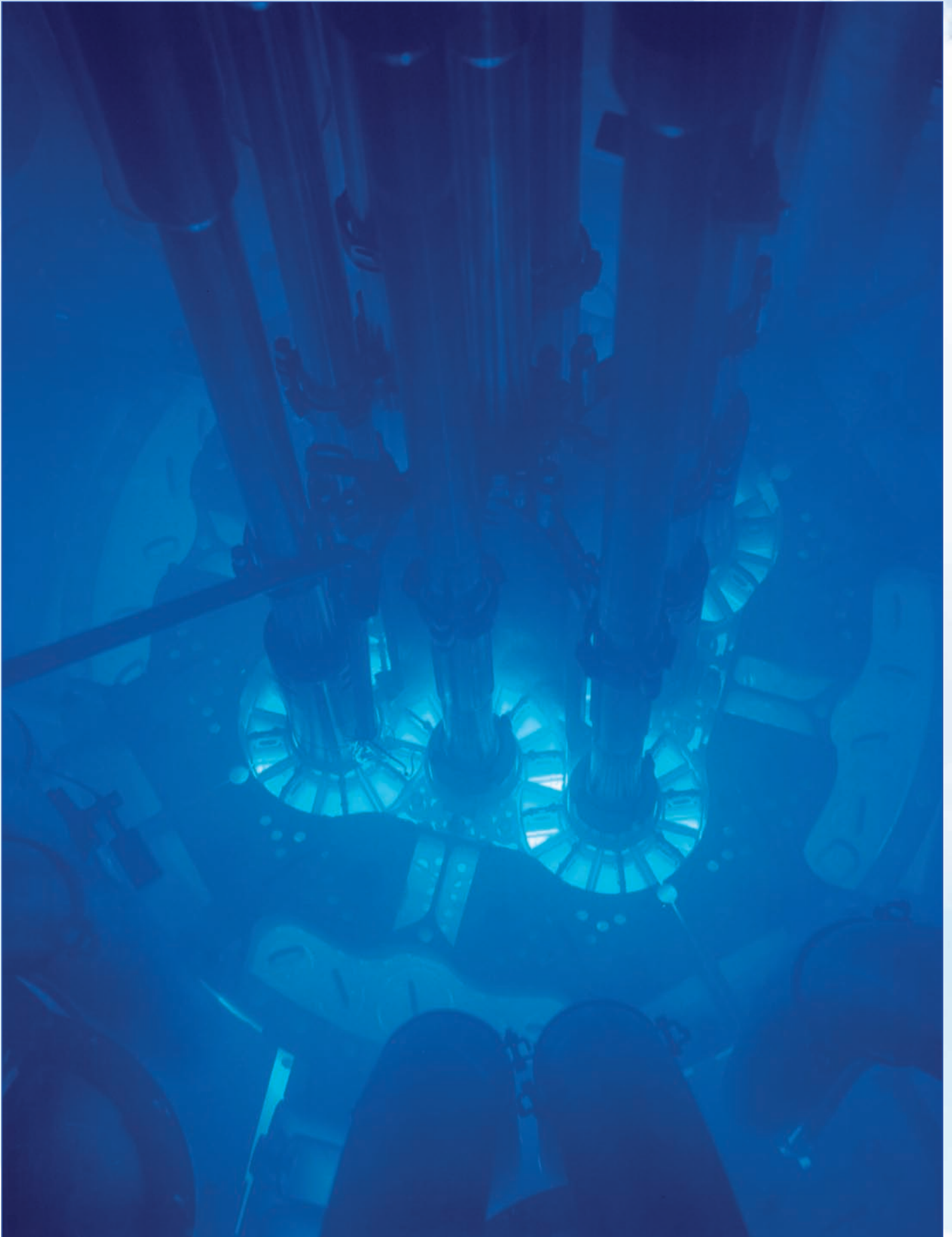


Beczki z odpadami nisko i średnio aktywnymi (50m³/rocznie)
Barrels with low & intermediate waste (50 m³/year)

Centralny magazyn odpadów promieniotwórczych w Brinje w okolicach Ljubljany

Central radwaste storage in Brinje near Ljubljana





Some rights reserved by Idaho National Laboratory