

Ewolucja Systemu CANDU, wyniki i doświadczenia eksploatacyjne, oraz szkolenie w kanadyjskich elektrowniach jądrowych Warszawa, grudzień, 2008

Acknowledgements/ podziękowania:

**Fred Dermakar, P. Eng. ,
Dale Craig, P. Eng.
Paul Strauss, P. Eng.
Mieczysław Kowalczyk, P. Eng.
Dan Poon, P. Eng.,
Larry Ip, P. Eng.
Barbara Goode, P. Eng.
Sław Kamiński, P. Eng.
Jacek Kopytek, P. Eng.
Dr hab. Jerzy Sawicki,
Dr inż. Emil Broś, P. Eng.
Silviu Idita, MSc Nuc Eng - PhD(c)
Olaf Heilandt, Mtce Spec.
Dr inż. Stefan Doerffer, P. Eng.
Dr Ala Alizadeh
Martin Nowak, Mrkt. Spec.**

Autor dziękuje wyżej wymienionym osobom za cenne uwagi i materiały zdjęciowe otrzymane w trakcie przygotowywania prezentacji



mgr inż. Dariusz Kulczyński, P. Eng. Kanada

Prezentacja odpowie też na pytanie, który z polskich polityków (dotychczas niestety tylko jeden) zwiedził kanadyjską elektrownię atomową.

Quo Vadis Polsko?

- O energetyce jądrowej rozmawiałem z następującymi polskimi politykami: Antonim Macierewiczem, Lechem Nikolskim, Jackiem Piechotą (publicznie - na sesji plenarnej X Konferencji Gospodarczej Polonii), Danutą Hübner, Maciejem Płażyńskim, Piotrem Grzegorzem Woźniakiem, Anną Kalatą, Pawłem Kowalem, Piotrem Naimskim, Tadeuszem Cymańskim, Jarosławem Kalinowskim, Markiem Borowskim i Bronisławem Komorowskim. No i oczywiście z wieloma politykami kanadyjskimi (n.p. z Hon. Dwight'em Duncan'em Ministrem Energetyki Ontario w 2004)
- Ważna jest ciągłość działania... Zagadnienie Energetyki Polskiej w ogólności, a energetyki jądrowej w szczególności powinno mieć, podobnie jak kiedyś promocja członkostwa Polski w NATO, charakter "ekumeniczny" (jak to określają niektórzy politycy).

Na początku lat 90-tych, „Opad z Czarnobyla” spowodował kłopoty energetyki jądrowej na całym świecie, także w Kanadzie. Powrót do energetyki konwencjonalnej zaowocował zwiększoną emisją dwutlenku węgla i szybsze niż przypuszczano stopienie się pokrywy lodowej Arktyki.

Dopiero w roku 2003 Ontario wybrało rząd, który zdaje sobie sprawę z powagi zagrożeń ekologicznych spowodowanych spalaniem paliw organicznych i przywrócił należne miejsce energetyce jądrowej w planach energetycznych Prowincji Ontario.

Minister of Energy

Heintz Block, 4th Floor
900 Bay Street
Toronto ON M7A 2E1
Tel: 416-327-6716
Fax: 416-327-6754

Ministre de l'Énergie

Edifice Heintz, 4e étage
900, rue Bay
Toronto ON M7A 2E1
Tél: 416 327 6716
Téléc: 416 327 6754



MAR 23 2004

Mr. D.W. Kulczynski
515 Edgewood Avenue
Oshawa, Ontario
L1G 2R7

Dear Mr. Kulczynski,

Thank you for providing me with your report, "The Ontario Power Sector Story from 1990 to 2004".

I appreciate your keen interest in these important issues and value the time you have taken to prepare this extensive report.

I look forward to reviewing the report. Should I have any questions or comments, I will be sure to be in touch.

Thank you again for keeping me informed.

Sincerely,

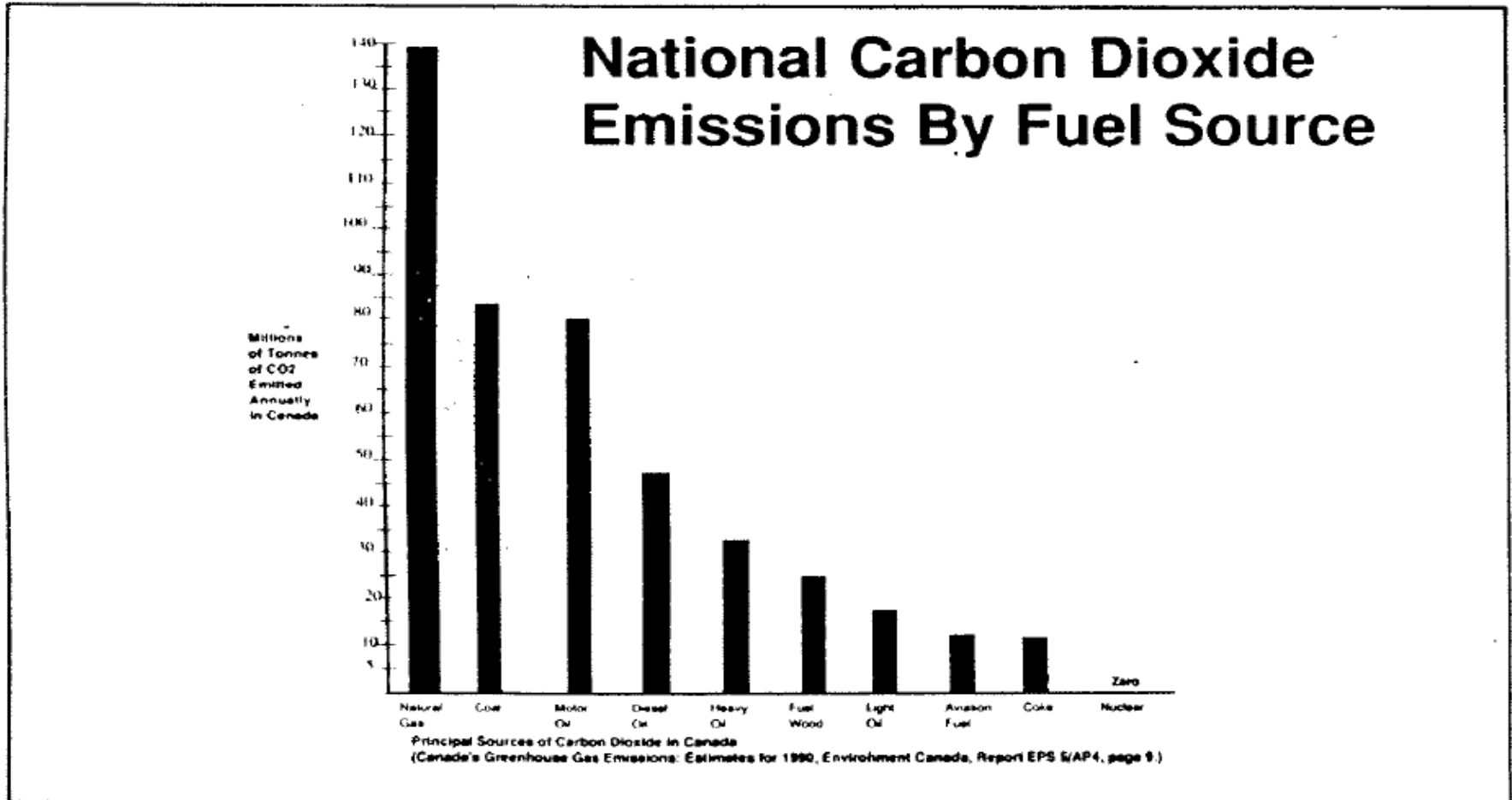
A handwritten signature in black ink, appearing to read "Dwight Duncan".

Dwight Duncan
Minister

Dlaczego energetyka jądrowa? W 1992 roku ekologowie przestrzegali przed stopieniem się lodów Arktyki w wyniku Efektu Ciepłarnianego. W 2007 roku stało się to już faktem dokonanym.

Polska znajdzie się też pod presją międzynarodową żeby zmniejszyć emisje CO₂.

Poniżej emisja dwutlenku węgla w Kanadzie w 1990 wg rodzaju paliwa.



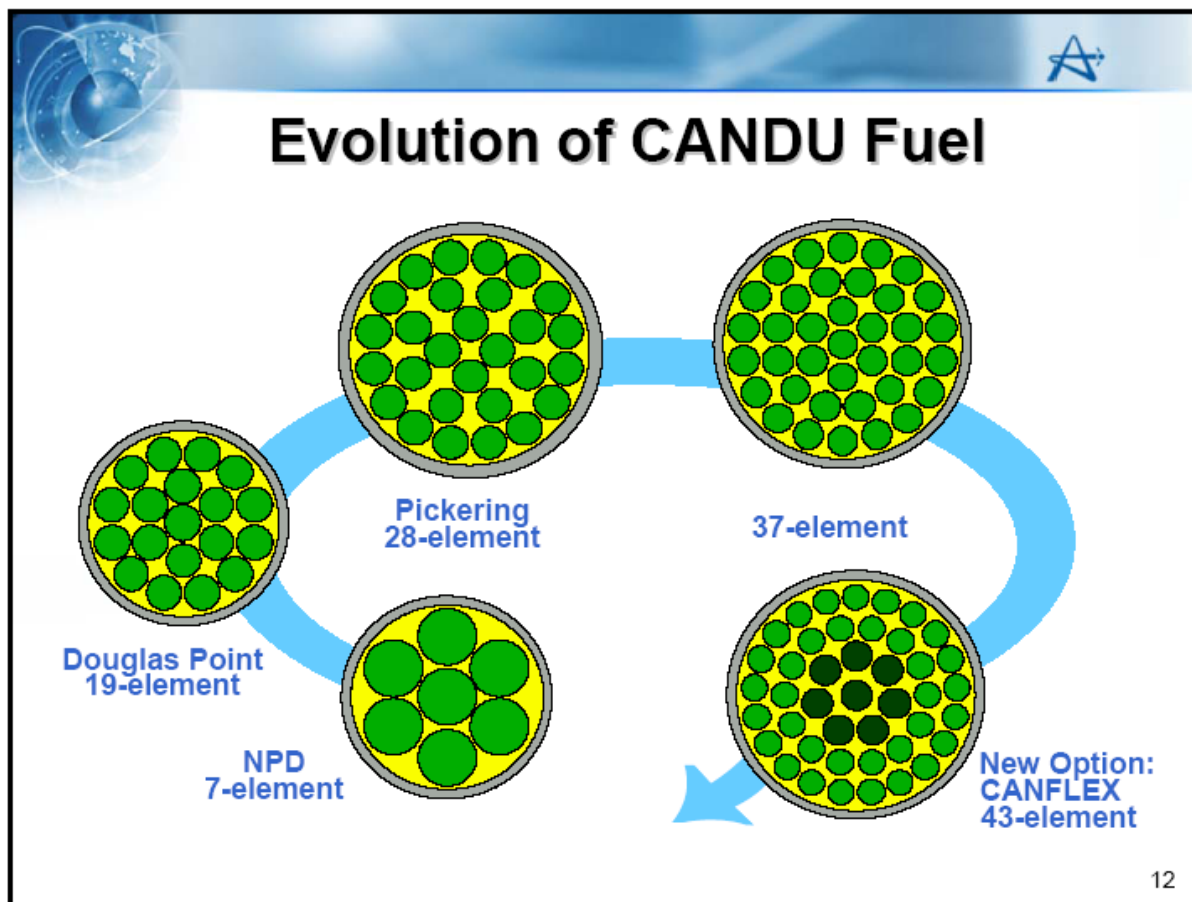
Uwagi do Projektu Polityki Energetycznej do 2030 i Tez do Dyskusji powieszonych na Stronach Ministerstwa Gospodarki R.P. (21-08-2008)

- **Wdrożenie Energetyki Jądrowej w Polsce**
- Jednym z celów *Strategii* jest: **Dążenie do zmniejszenia do 2030 roku emisji CO₂ z sektora paliwowo-energetycznego o 20% w stosunku do 2005 roku.** Jest to pilne z kilku powodów. Przede wszystkim z uwagi na konieczność spowolnienia zmian klimatycznych (Tornado w Polsce!), a po drugie ze względu na kary za emisję CO₂, które nakłada na Polskę i nakładać będzie coraz bardziej agresywnie Komisja Europejska.
- Szybkie wdrożenie Energetyki Jądrowej będzie możliwe jeżeli Polska natychmiast upoważni podmioty polskie, zagraniczne i mieszane do występowania o autoryzację budowy elektrowni jądrowych według systemów wybranych przez inwestorów pod warunkiem zatwierdzenia danego systemu i lokalizacji elektrowni atomowych przez Polski Dozór Jądrowy. Taki rozwój energetyki jądrowej jest preferowaną metodą zdobycia nowych źródeł zasilania zgodnie z **DIRECTIVE 2003/54/EC.**

Celem *Strategii* w odniesieniu do Polskiej Grupy Energetycznej powinno być osiągnięcie do 2030 roku 33% udziału energetyki jądrowej co jest obecną średnią w Unii Europejskiej.
- Według „**Tez do dyskusji nad polityką energetyczną Polski do roku 2030**” ma następować „interwencyjna polityka państwa, poprzez stabilizację rynku zasobami produkcyjnymi Polskiej Grupy Energetycznej, zgodnie z „Programem dla elektroenergetyki” gdyż „Rosnące i niestabilne ceny energii elektrycznej mogą ograniczyć rozwój gospodarczy” [koniec cytatu]. Aby Polska Grupa Energetyczna mogła powyższe zadanie pomyślnie wykonywać musi mieć instrumenty w postaci technologii produkcji energii elektrycznej o najniższych kosztach.

Slajdy dotyczące cykli paliwowych pochodzą z prezentacji Wiceprezesa AECL, Jerry'ego Hopwood'a, który przedstawił ją na I Seminarium CANDU, Warszawa, Styczeń 2007. Więcej informacji szczegółowych trzeba uzyskać bezpośrednio z AECL. Firma ta oferuje kompletne rozwiązania dotyczące cyklu paliwowego, między innymi technologię przerabiania odpadów PWR w stanie suchym na potrzeby CANDU.

CANDU – (Canada-Deuterium-Uranium) używa taniego, łatwego w produkcji uranu naturalnego. Reaktory te mogą używać też innego rodzaju paliwa

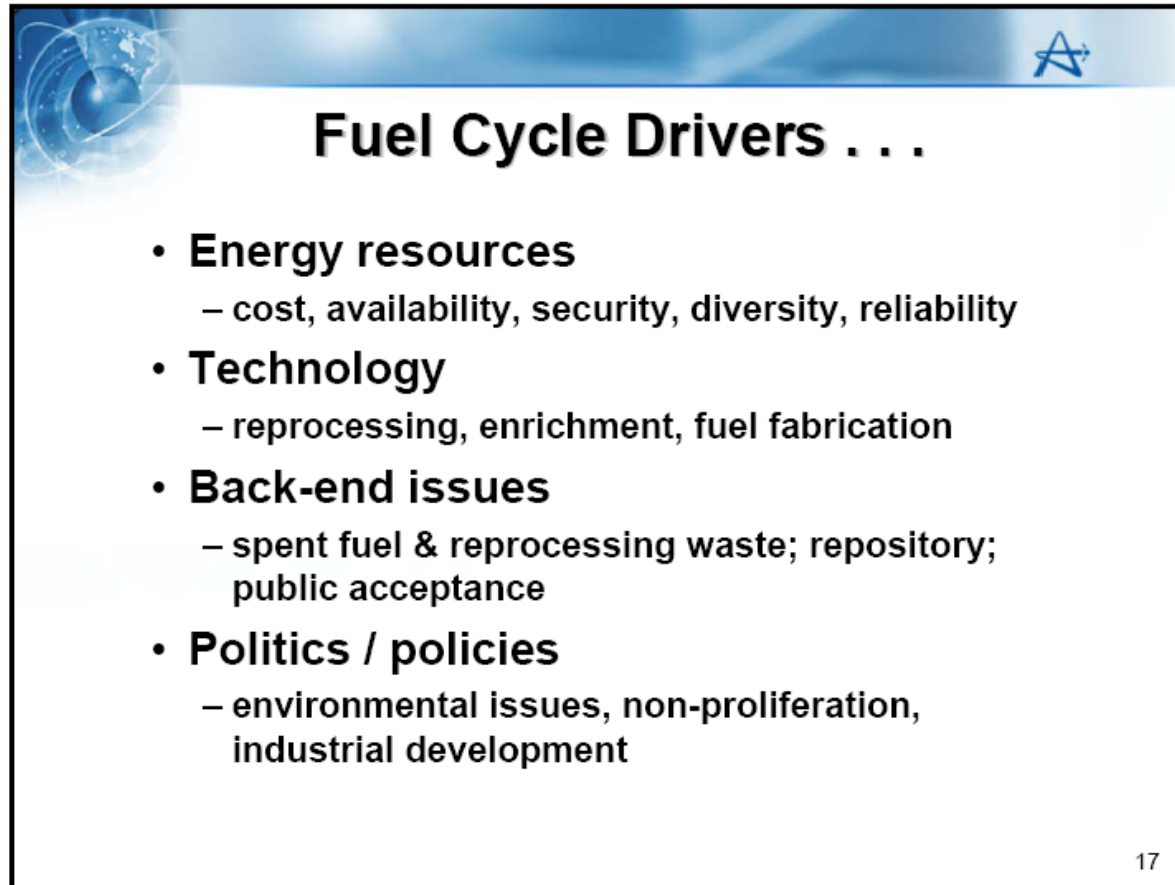


12

To jaki cykl paliwowy dany użytkownik CANDU wybierze zależy od wielu czynników wyszczególnionych na kolejnych dwóch slajdach.



Źródła energii, technologia, możliwości składowania i przetwarzania zużytego paliwa, polityka i strategia polityczna wpływają na wybór cyklu paliwowego.

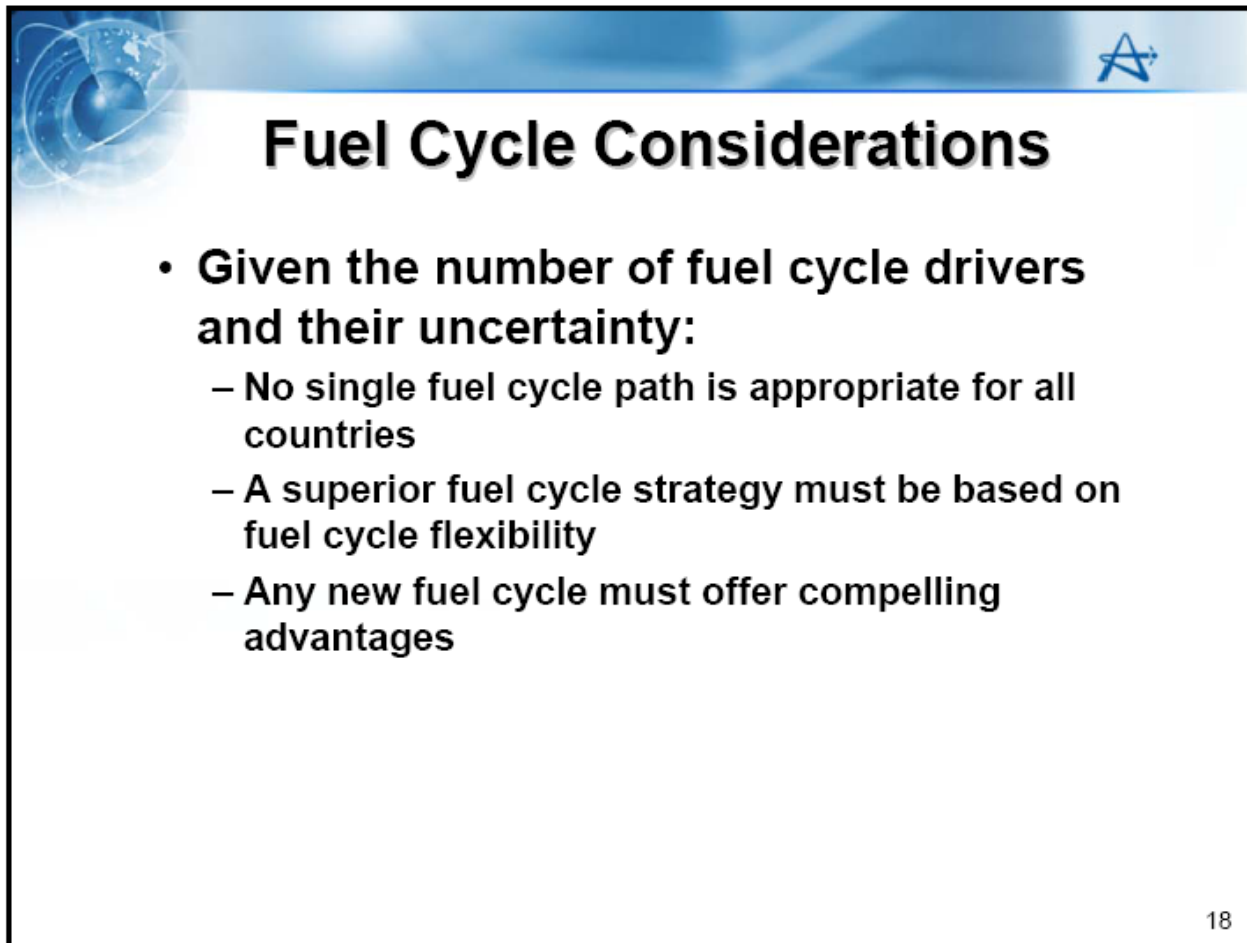
A presentation slide titled "Fuel Cycle Drivers . . ." with a blue header and a globe graphic on the left. The slide lists four main categories: Energy resources, Technology, Back-end issues, and Politics / policies, each with sub-points. A small blue star logo is in the top right corner of the slide frame.

Fuel Cycle Drivers . . .

- **Energy resources**
 - cost, availability, security, diversity, reliability
- **Technology**
 - reprocessing, enrichment, fuel fabrication
- **Back-end issues**
 - spent fuel & reprocessing waste; repository; public acceptance
- **Politics / policies**
 - environmental issues, non-proliferation, industrial development

17

Wypracowanie optymalnego cyklu paliwowego zależy od przyjętej strategii energetycznej każdego państwa – użytkownika CANDU.



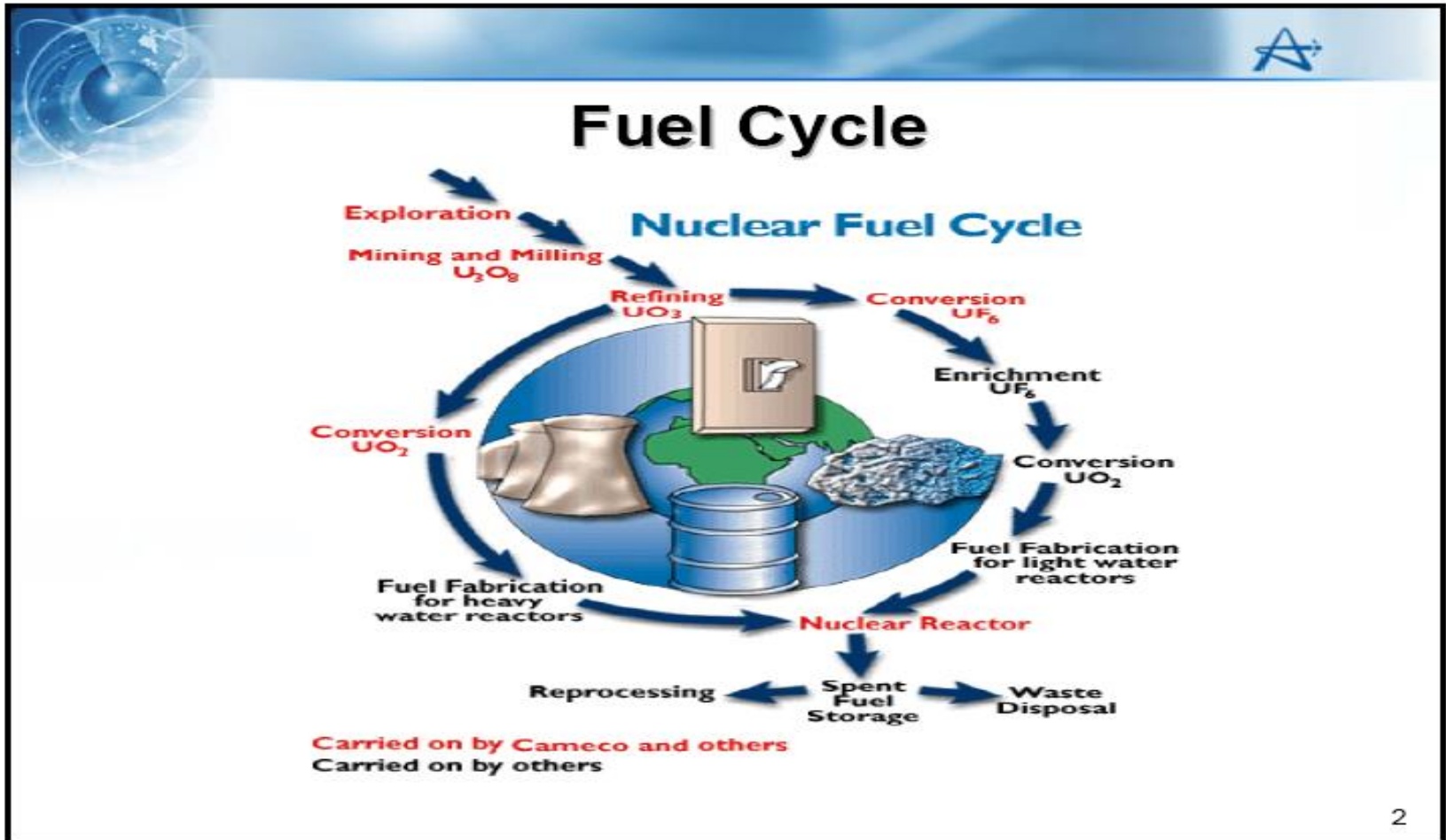
The slide features a blue header with a globe icon on the left and a stylized 'A' logo on the right. The main content is a bulleted list of considerations for fuel cycle strategies, presented in a clean, professional layout.

Fuel Cycle Considerations


- **Given the number of fuel cycle drivers and their uncertainty:**
 - No single fuel cycle path is appropriate for all countries
 - A superior fuel cycle strategy must be based on fuel cycle flexibility
 - Any new fuel cycle must offer compelling advantages

18

Cykl paliwowy



Możliwe cykle paliwowe CANDU (1)




Fuel Cycle Options

- **Natural Uranium**
 - Enhanced CANDU 6
 - Low cost fuel, simplest supply chain
 - Unequalled uranium utilization (energy/ton)
- **Low-Enriched Uranium**
 - ACR-1000 or Enhanced CANDU 6
 - Enables reduced capital cost, increased output and extended fuel burn-up
 - Strong development path for further improvements to fuel economies

4

Cykl paliwowy CANDU (2)

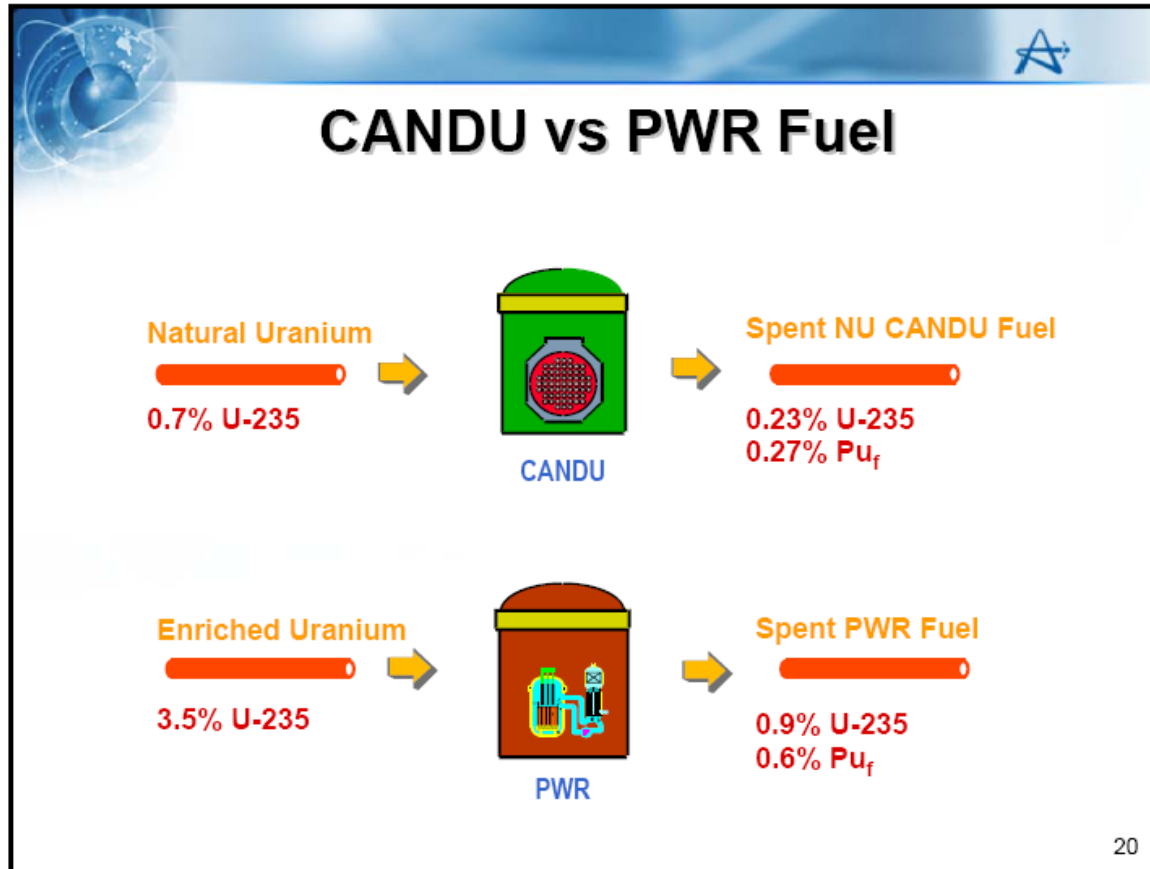


Fuel Cycle Options (2)

- **Alternative Fuel Cycles : CANDU system enables maximum flexibility and effectiveness for alternative fuel cycles**
- **Recycle of LWR fuel as MOX, or by dry reprocessing**
- **Thorium fuel cycle**
- **Actinide burning – waste minimization**

5

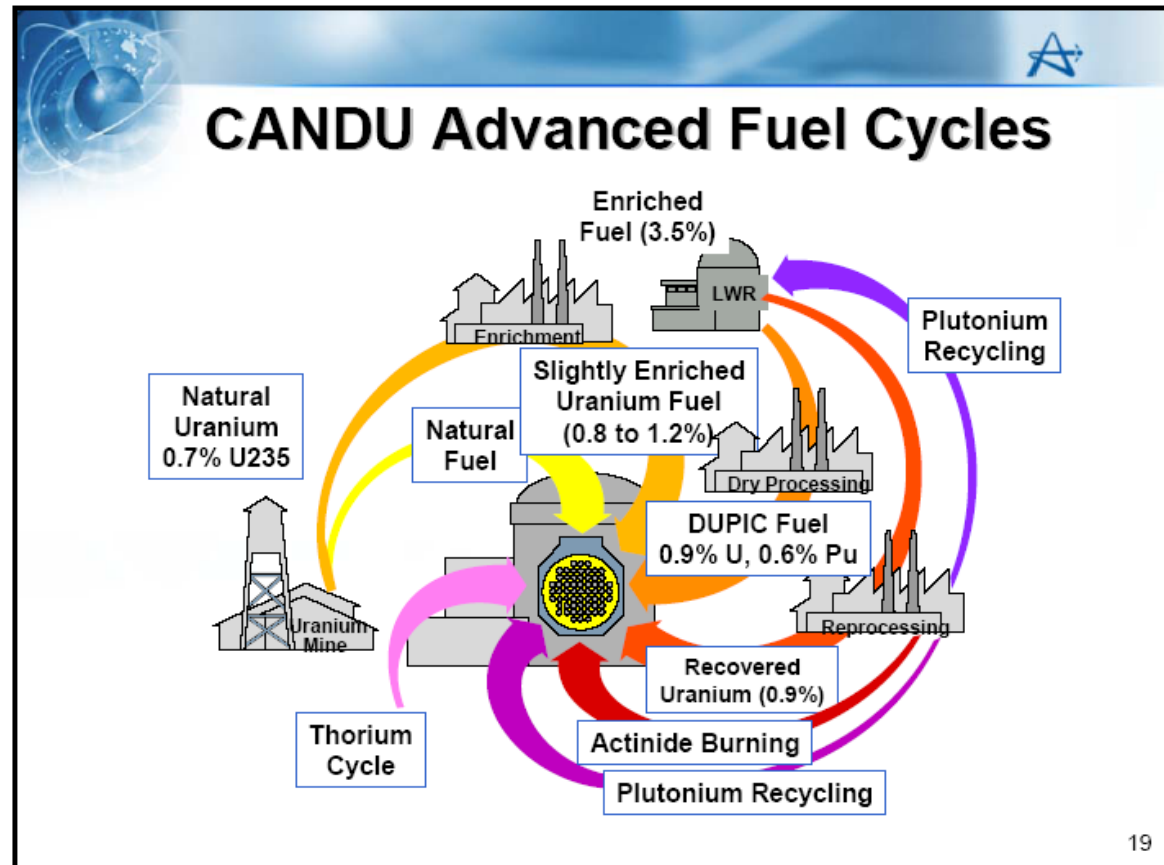
Różnice między paliwem do PWR's i do CANDU



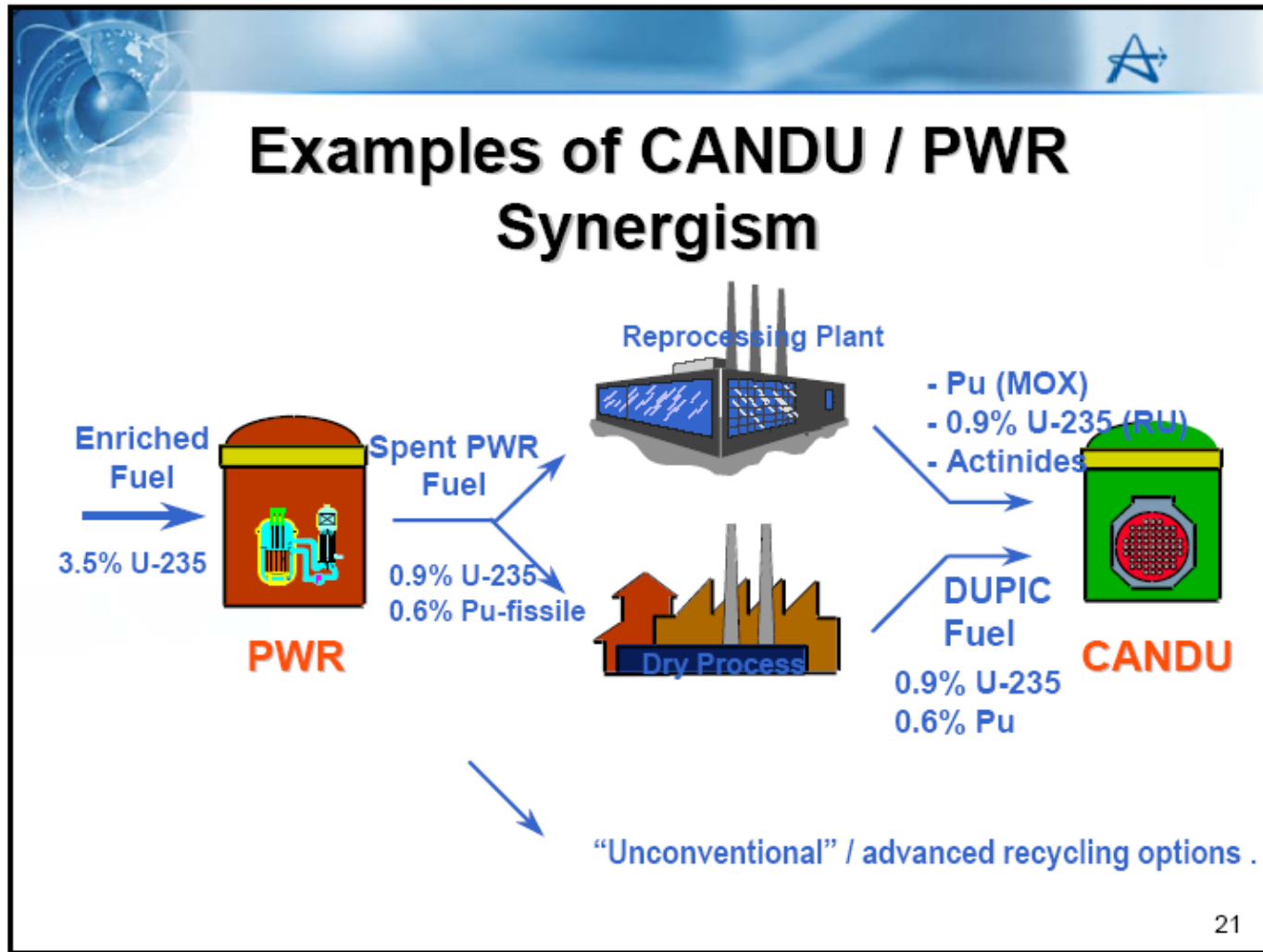
Kraje eksploatujące reaktory lekkowodne PWR's, mogą „dopalać” przetworzone zużyte paliwo w reaktorach ciężkowodnych CANDU (po przerobieniu odpadów z PWR w fabryce – reprocessing plant).

To dodatkowo redukuje ilość odpadów z PWR's.

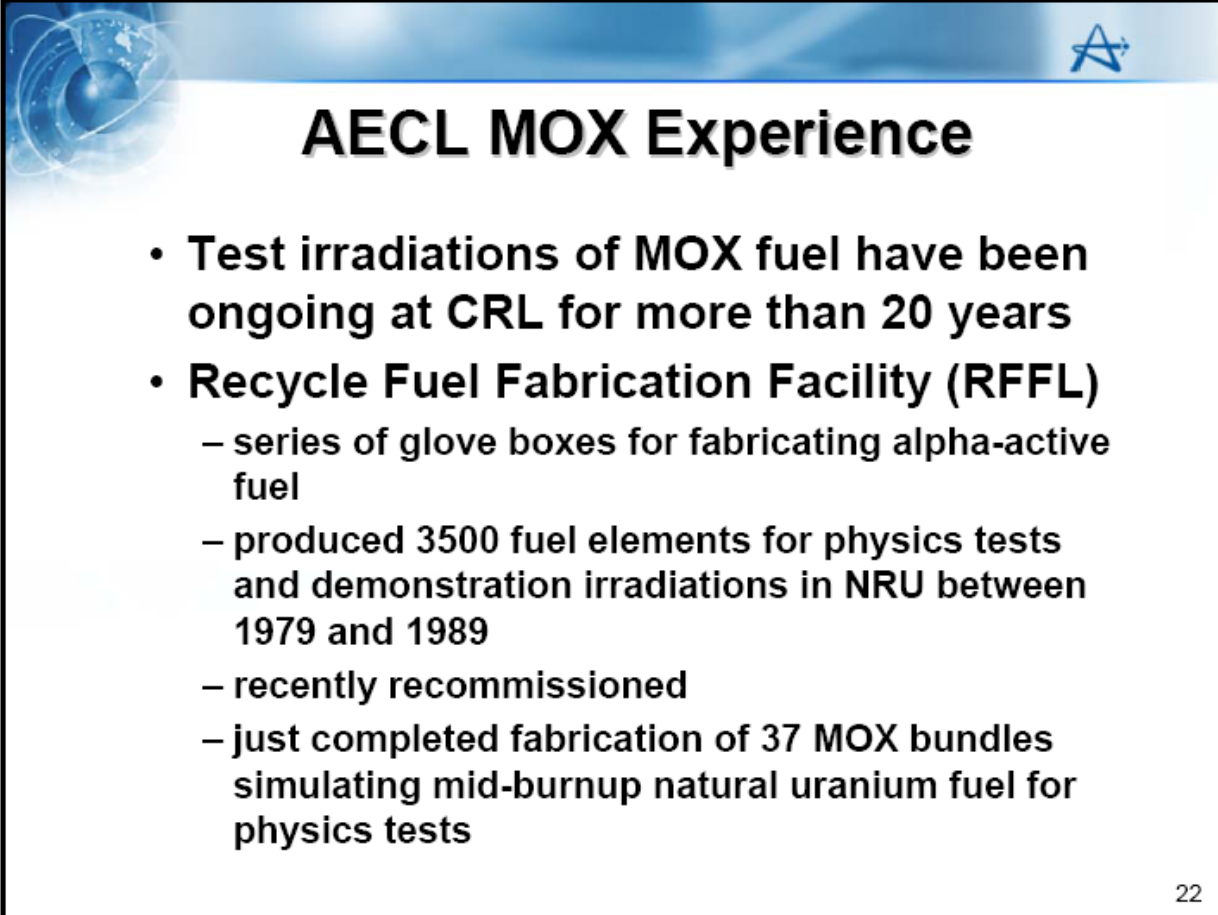
CANDU może również „spalać” tor zamiast uranu.



Na użytek CANDU, zużyte paliwo z PWR's można przerabiać na dwa sposoby



Możliwość „dopalania” odpadów z PWR’s została potwierdzona doświadczalnie



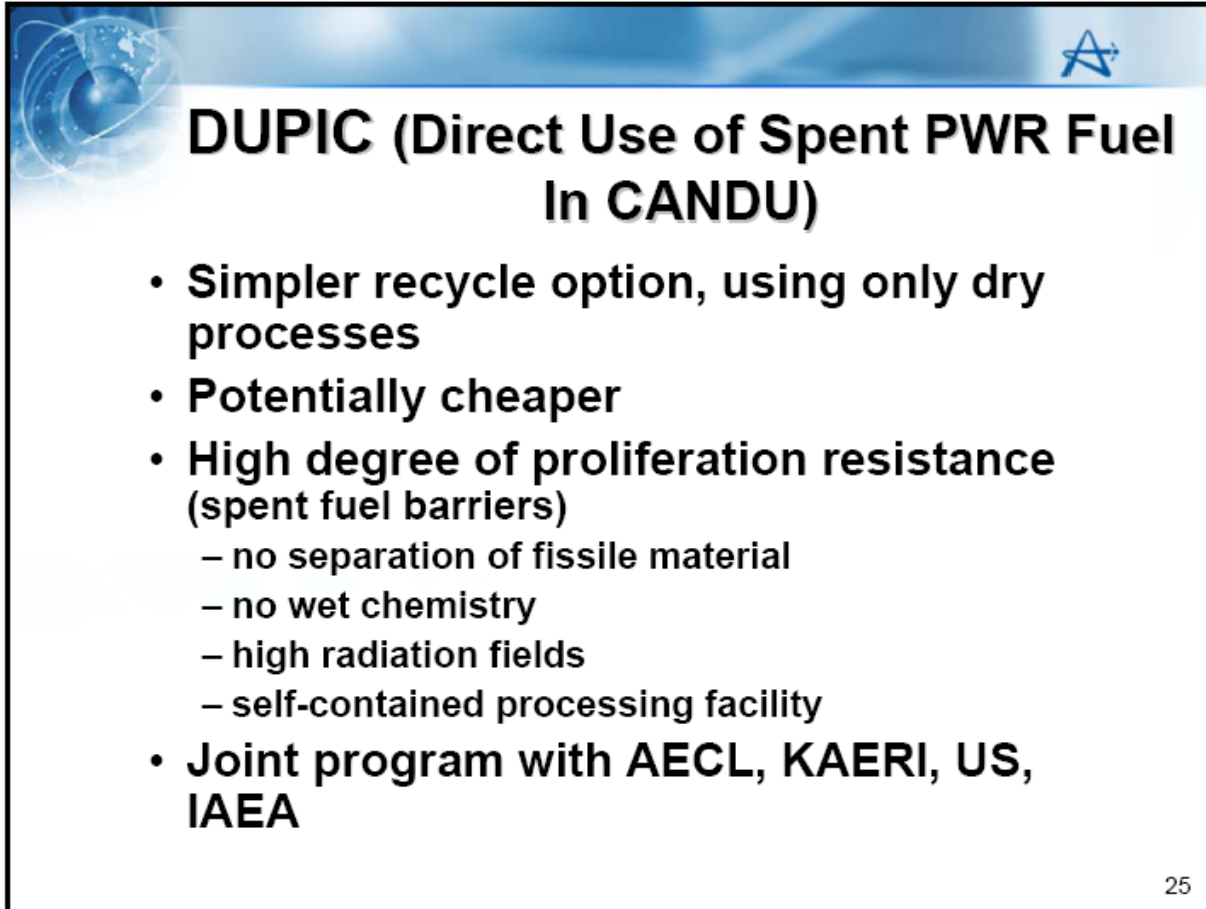
The slide features a blue header with a globe icon on the left and a star icon on the right. The main content is a bulleted list of facts about MOX fuel experience at AECL. The slide is enclosed in a black border.

AECL MOX Experience

- **Test irradiations of MOX fuel have been ongoing at CRL for more than 20 years**
- **Recycle Fuel Fabrication Facility (RFFL)**
 - series of glove boxes for fabricating alpha-active fuel
 - produced 3500 fuel elements for physics tests and demonstration irradiations in NRU between 1979 and 1989
 - recently recommissioned
 - just completed fabrication of 37 MOX bundles simulating mid-burnup natural uranium fuel for physics tests

22

Metoda DUPIC umożliwia prostsze i tańsze przetwarzanie odpadów z PWR do używania w reaktorach CANDU



DUPIC (Direct Use of Spent PWR Fuel In CANDU)

- **Simpler recycle option, using only dry processes**
- **Potentially cheaper**
- **High degree of proliferation resistance (spent fuel barriers)**
 - no separation of fissile material
 - no wet chemistry
 - high radiation fields
 - self-contained processing facility
- **Joint program with AECL, KAERI, US, IAEA**

25



Recycle Fuel Fabrication Facility (RFFL)



23

Składowanie zużytego paliwa CANDU (w basenie elektrowni, w stanie suchym – do 100 lat) później w głębokich formacjach geologicznych, lub w nowo wybudowanym składzie suchym



AECL Waste Management Solutions

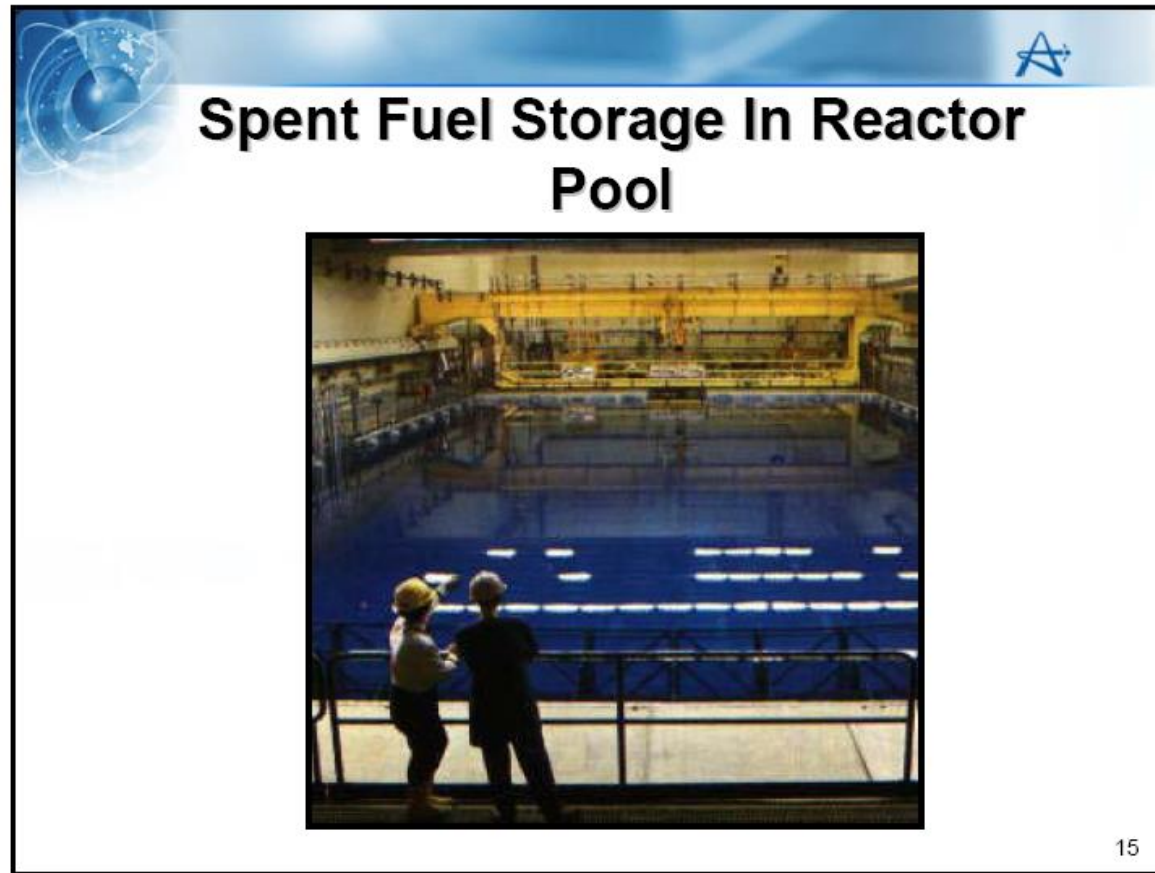
- **Interim dry fuel storage technology - MACSTOR®**
 - In use in Canada, Korea, Romania
 - Good for 100 years before replacing
 - For a twin unit plant approx. 30 modules are required for the 60 year life of the plant
 - Each module contains approx. 24,000 fuel bundles
- **Long- term waste disposal concept developed**
 - URL (Underground Research Laboratory) constructed in Canadian Shield
 - 20-year, \$900M study of deep disposal concept
 - Reviewed by a federal environmental review panel



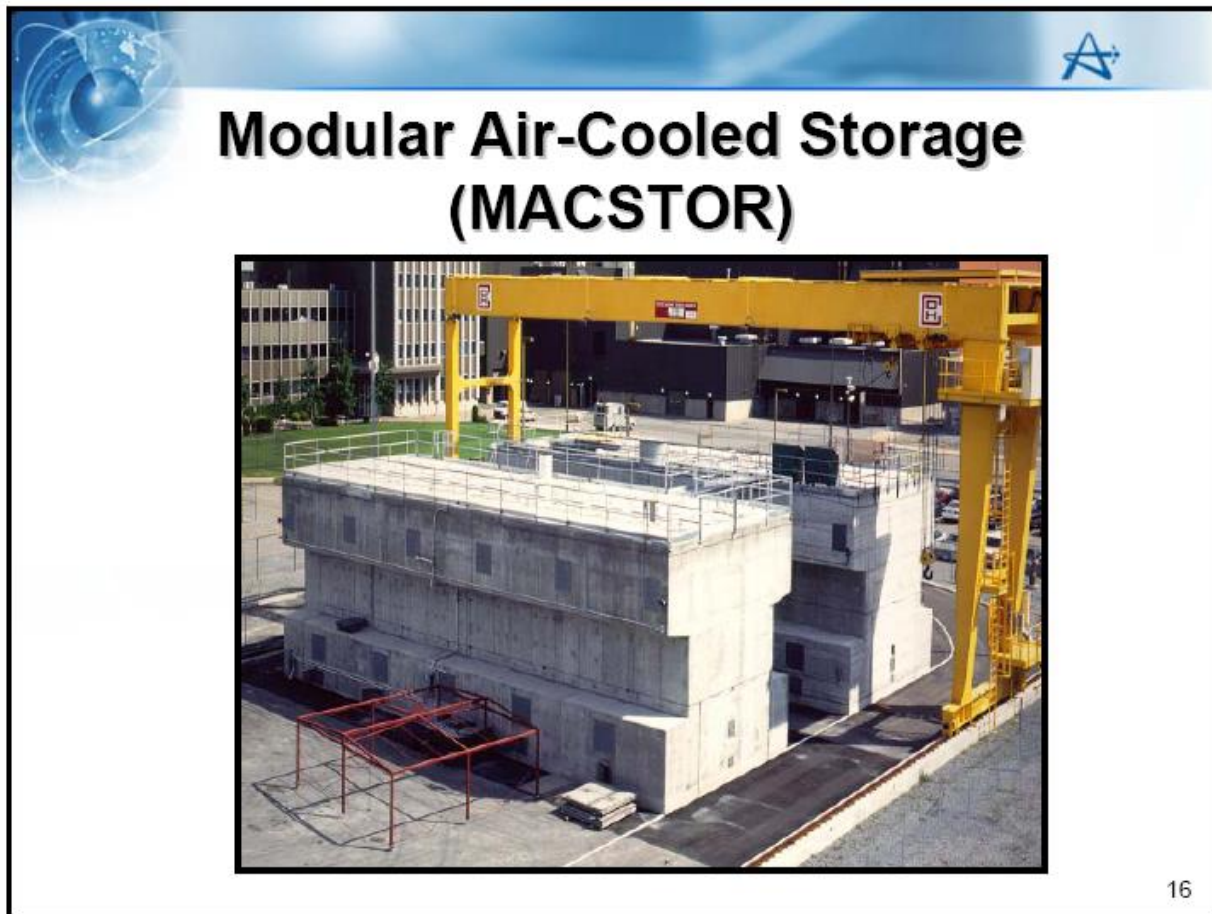
MACSTOR Units at
Gentilly 2

13

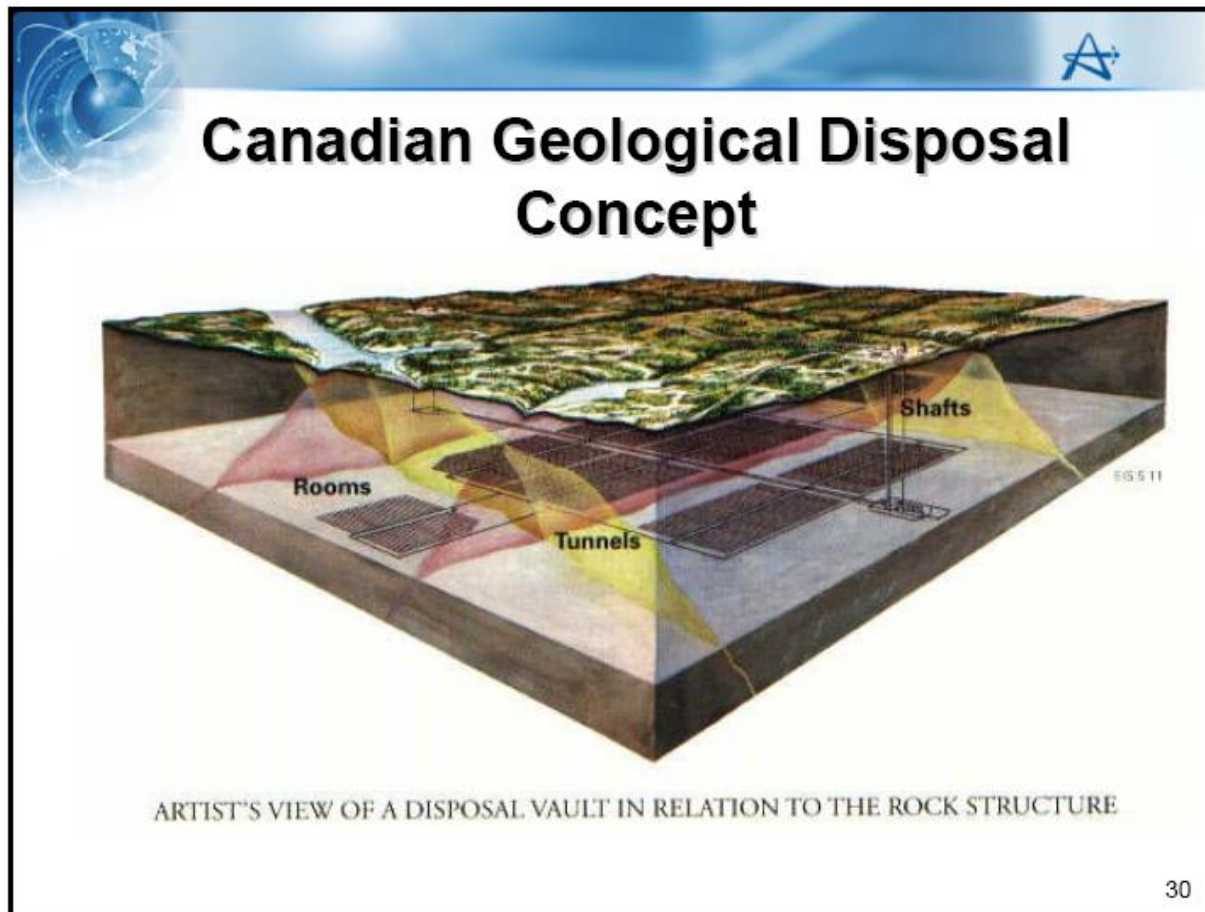
Przez kilkanaście lat zużyte paliwo CANDU
składowane jest w basenie
w budynku elektrowni.




Potem można je składować w stanie suchym (składy konstruowane na sto lat eksploatacji)



Możliwe jest długoterminowe składowanie w głębokich formacjach geologicznych w kraju pochodzenia odpadów. USA i Kanada rozpoczęły już prace w tym kierunku. Z powodów politycznych i ekologicznych (transport) byłoby niezmiernie trudne umożliwienie takiego składowiska dla innych użytkowników.



Ile jest odpadów jądrowych w Kanadzie?



Status of Waste Management in Canada

- **Nuclear Energy produces 15 percent of Canada's electricity**
 - How much waste so far (34 years of commercial operation)?
 - 36 thousand tonnes of Uranium
 - 5 hockey rinks (ice surface to the top of the boards)
- **Nuclear Waste Management Organization (NWMO)**
 - Launched 3 years ago
 - Issued its Final Study Report on Nov 3, 2005

28

25 najlepiej pracujących reaktorów świata w 2006 – pozycja 10 i 15 to CANDU-6 w Korei Południowej

The Top 25 Reactors in 2006

	Unit	Nation	Type	Capacity	Capacity Factor in 2006
1	Comanche Peak 1	U.S.	PWR	1161	102.5
2	Vermont Yankee	U.S.	BWR	635	102.2
3	South Texas 2	U.S.	PWR	1315	102.1
4	Diablo Canyon 1	U.S.	PWR	1164	101.9
5	Limerick 2	U.S.	BWR	1163	101.7
6	Byron 2	U.S.	PWR	1210	101.2
7	Kariwa 2	Japan	BWR	1100	101.1
8	Farley 2	U.S.	PWR	905	100.9
9	Point Beach 1	U.S.	PWR	524	100.7
10	Wolsong 4	SK	PHWR	730	100.4
11	La Salle 2	U.S.	BWR	1178	100.3
12	Arnold	U.S.	BWR	614	100.1
13	Yonggwang 4	SK	PWR	1039	99.9
14	Higashidori 1	Japan	BWR	1100	99.7
15	Wolsong 2	SK	PHWR	730	99.7
16	Millstone 3	U.S.	PWR	1209	99.3
17	Indian Point 3	U.S.	PWR	1065	99.3
18	TVO 2	Finland	BWR	870	99.1

25 najlepiej pracujących reaktorów świata w 2006

pozycja 21 to Blok Nr 2 kanadyjskiej el. atomowej DNGS
[4 x] 935 MW(e), 880 MW MCR

The Top 25 Reactors in 2006

	Unit	Nation	Type	Capacity	Capacity Factor in 2006
19	St. Lucie 1	U.S.	PWR	892	99.0
20	Arkansas 1	U.S.	PWR	903	98.5
21	Darlington 2	Canada	PHWR	935	98.4
22	Grand Gulf	U.S.	BWR	1306	98.3
23	Monticello	U.S.	BWR	613	98.3
24	Peach Bottom 3	U.S.	BWR	1182	98.3
25	Hatch 2	U.S.	BWR	924	98.3

25 najlepiej pracujących reaktorów świata od uruchomienia
 – poz. 2, 3, 4 CANDU-6 w Korea Płd. , a pozycja 15 to Blok Nr 1 kanadyjskiej
 elektrowni DNGS [4 x] 935 MW(e), 880 MW MCR

The Top 25 Reactors Lifetime in 2006

	Unit	Nation	Type	Capacity	Lifetime Capacity Factor
1	Emsland	Germany	PWR	1400	93.4
2	Wolsong 3	SK	PHWR	729	92.9
3	Wolsong 2	SK	PHWR	730	92.5
4	Wolsong 4	SK	PHWR	730	92.4
5	Ulchin 4	SK	PWR	1045	92.0
6	Neckar 2	Germany	PWR	1395	91.0
7	Yonggwang 4	SK	PWR	1039	90.9
8	Ulchin 3	SK	PWR	1047	89.9
9	Grohnde	Germany	PWR	1430	89.0
10	Isar 2	Germany	PWR	1475	89.9
11	TVO 2	Finland	BWR	870	88.7
12	Limerick 2	U.S.	BWR	1163	88.7
13	Yonggwang 3	SK	PWR	1039	88.1
14	Asco 2	Spain	PWR	1027	88.1
15	Darlington 1	Canada	PHWR	935	87.8
16	Brokdorf	Germany	PWR	1440	87.8
17	Phillipsburg 2	Germany	PWR	1458	87.6
18	Beznau 2	Switzerland	PWR	380	87.1
19	Vogtle 2	U.S.	PWR	1223	86.9
20	Tihange 3	Belgium	PWR	1070	86.7
21	TVO 1	Finland	BWR	870	86.6
22	Paks 4	Hungary	PWR	471	86.3
23	Kori 4	SK	PWR	1006	86.2
24	Almiraz 2	Spain	PWR	983	86.0
25	Comanche Peak 2	U.S.	PWR	1173	85.9

Nuclear Engineering International, August 2007

Omówienie podstawowych założeń technicznych CANDU, wczesnych doświadczeń eksploatacyjnych i ewolucji systemu

Elektrownia NPD NGS (1962-1987) zbudowana została łącznie przez AECL, Ontario Hydro i Canadian General Electric (dziś GE-Canada).

Budowana była w głąb, pod powierzchnią ziemi-najniżej były Dump Tank Room (pomieszczenie zbiornika zrzutowego Moderatora, Spent Fuel Bay (basen zużytego paliwa), Boiler Room (kotłownia) i Reactor Vault – bunkier reaktora-niedostępny za wyjątkiem tzw. „End Rooms” na zewnątrz, za tarczami-ekranami obrotowymi-Rotating Shields.

Powyżej poziomu ziemi była Turbine Hall-maszynownia, Control Room-nastawnia, Electrical Distribution Room (rozdzielnia), Diesel Room – generatory Diesla zasilania rezerwowego, systemy wentylacji z klapami i osuszaczami do wychwytywania ciężkiej wody , laboratorium chemiczne i biura techniczne oraz magazyn.



Wszystkim systemom elektrowni CANDU przypisano pięciocyfrowe numery zwane USI- Uniform Subject Index.

Tak są uporządkowane wszystkie specyfikacje techniczne, rysunki i instrukcje eksploatacyjne (Design Manuals and Drawings as well as Operating Manuals)

(przykłady poniżej)

- | USI | Title |
|----------------|---|
| • 32000 | MODERATOR & AUXILIARIES SYSTEMS |
| • 32110 | MODERATOR MAIN CIRCUIT COMPONENTS |
| • 32111 | Heat Exchanger |
| • 32112 | Pumps & Motors |
| • 33000 | PRIMARY HEAT TRANSPORT SYSTEM |
| • 33100 | HEAT TRANSPORT MAIN CIRCUIT |
| • 33103 | Valves |
| • 33108 | Hangers & Restraints |
| • 33109 | Piping |
| • 33110 | STEAM GENERATOR |
| • 40005 | Turbine Generator - General TURBINE MAIN STEAM |
| • 41110 | CYLINDERS |
| • 41120 | ROTORS |
| • 41130 | BLADES |
| • 41150 | TURBINE TURNING GEAR |
| • 41160 | TURBINE MAIN STEAM VALVE |
| • 41161 | Turbine Emergency Stop Valves |
| • 41162 | Turbine Governing Valves |

Nuclear Power Demonstration Nuclear Generating Station (NPD NGS 1962-1987, zdjęcie z 1985 roku)

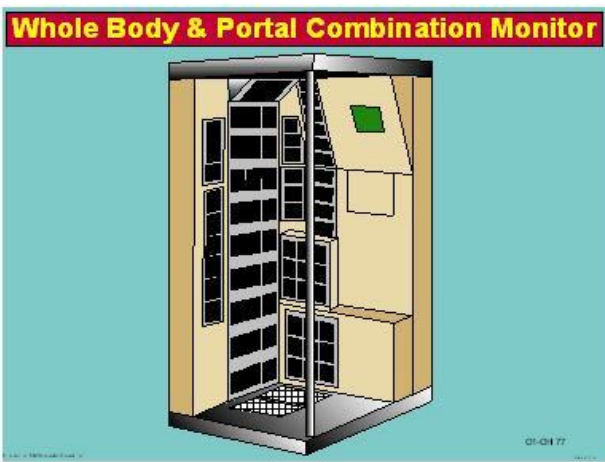
•NPD NGS Podzielona była na cztery strefy (Zones 1, 2, 3 and 4) o zwiększającym się prawdopodobieństwie wystąpienia skażeń i odpowiednio zmniejszającym się ciśnieniu. Powietrze płynęło z „najczystszej” strefy 1 do 2 do 3 i do 4, potem przez osuszacze i filtry do wysokiego komina. Kanadyjski Regulator Atomowy AECB ustalał normy emisji DEL (Derived Emission Levels). NPD nie przekraczała emisji 1% DEL (surowy limit administracyjny Ontario Hydro) za wyjątkiem limitu emisji radioaktywnych gazów szlachetnych –głównie Argonu-41. Argon-41 powstawał z powietrza, którym chłodzona była przestrzeń między rurami ciśnieniowymi i rurami Calandrii.



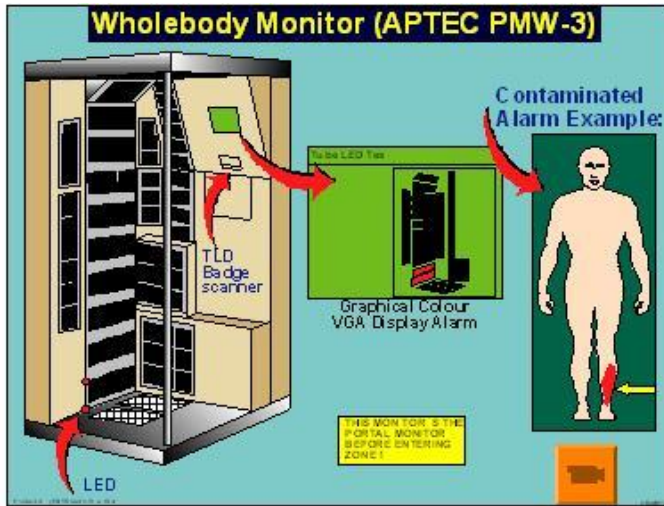
W nowych elektrowniach ilość stref zredukowano z 4 do 3, ale wentylacja i ruch personelu funkcjonują identycznie jak w NPD. Przy przejściu ze strefy o numerze wyższym do strefy o numerze niższym obowiązuje pomiar obecności skażeń co wyjaśnia kolejny slajd.

Przechodząc ze strefy 3 do 2 , 2 do 1 lub wychodząc poza obszar stref trzeba sprawdzić, ze nie ma skażeń. Jeśli są, trzeba je usunąć i ponownie sprawdzić. Dopiero jak monitor nie alarmuje to można iść do „niższej” strefy.

Monitory na rysunkach są znacznie późniejsze niż te używane w NPD.



Międzystrefowy Monitor skażeń



<< Miernik skażeń powierzchni (contamination meter) oraz ...

Międzystrefowy Monitor do małych przedmiotów >>>



Zagrożenia radiologiczne w elektrowniach CANDU

(Radiation Hazards in CANDU Nuclear Generating Stations)

Zewnętrzne: Gamma, Beta, Neutrony, (wewnętrzne) Tryt, (zewnętrzne i wewnętrzne) skażenia powietrza, skażenia powierzchni, skażone płyny. Tryt powstaje z Deuteru bomardowanego neutronami w większym stopniu w ciężkiej wodzie obiegu moderatora niż w pierwotnym obiegu chłodzenia.

THE SEVEN RADIATION HAZARDS

CLASS	HAZARD
<p><i>RADIATION:</i> Excess energy emitted from a radioactive nuclide.</p> <p><i>CONTAMINATION:</i> Radioactive material in any place where it is not desired and particularly, in any place where its presence may be harmful.</p>	<ol style="list-style-type: none">1. External Gamma2. External Beta3. Neutrons 4. Tritium5. Airborne Contamination6. Surface Contamination7. Contaminated Liquids

September, 2002 (R000)

0-OH-9

Jednostki Północno-Amerykańskie

Aktywność [Ci], zwykle jako mCi lub nawet uCi

Doza (dawka) wchłonięta [RAD], zwykle występuje jako „dose rate” w mRad/h

Równoważnik Biologiczny Dozy (dawki) [REM], zwykle jako „dose rate” w mRem/h

- **Common Units – Canada and USA**
- These are the common units used in the United States in health physics.
- **Roentgen (R) [wymawiane jako Randgin]**
- The Roentgen is a unit used to measure a quantity called exposure. This can only be used to describe an amount of gamma and X-rays, and only in air. One Roentgen is equal depositing to 2.58×10^{-4} coulombs per kg of dry air. It is a measure of the ionizations of the molecules in a mass of air. The main advantage of this unit is that it is easy to measure directly, but it is limited because it is only for deposition in air, and only for gamma and x rays.
- **RAD (Radiation Absorbed Dose)**
- The RAD is a unit used to measure a quantity called absorbed dose. This relates to the amount of energy actually absorbed in some material, and is used for any of radiation and any material. One RAD is defined as the absorption of 100 ergs per gram of material. The unit RAD can be used for any of radiation, but it does not describe the biological effects of the different radiations.
- **REM (Roentgen Equivalent Man)**
- The rem is a unit used to derive a quantity called equivalent dose. This relates the absorbed dose in human tissue to the effective biological damage of the radiation. Not all radiation has the same biological effect, even for the same amount of absorbed dose. Equivalent dose is often expressed in terms of thousandths of a rem, or millirem. To determine equivalent dose (rem), you multiply absorbed dose (RAD) by a quality factor (Q) that is unique to the of incident radiation.
- **Curie (Ci)**
- The curie is a unit used to measure a radioactivity. One curie is the amount of radioactivity in one gram of the element first **discovered by Madame Curie**, Radium. It is also the quantity of a radioactive material that will have 37,000,000,000 transformations in one second. Often radioactivity is expressed in smaller units like: thousandths (mCi), one millionths (uCi) or even billionths (nCi) of a curie. The relationship between Becquerel and curie is: 3.7×10^{10} Bq in one curie.

**Jednostki SI są bardzo małe (Becquerel) lub bardzo duże (Gray, Sievert)
w porównaniu do Północno-Amerykańskich**

One Curie is equivalent 3.7 x 10¹⁰ Bq

One Sievert is equivalent to 100 rem

**Ponadto zatracone jest połączenie promieniotwórczości z drogim Polakom nazwiskiem Curie. W
Kanadzie używamy Curies i bardzo jesteśmy z tego dumni głosząc wszem i wobec jakiej
narodowości była sławna **Madame Curie**.**

- **Common Units - SI - International Standard**

- Note: These are the common units used throughout the world in health physics.

- **Gray (Gy)**

- The gray is a unit used to measure a quantity called absorbed dose. This relates to the amount of energy actually absorbed in some material, and is used for any of radiation and any material. One gray is equal to one joule of energy deposited in one kg of a material. The unit gray can be used for any of radiation, but it does not describe the biological effects of the different radiations. Absorbed dose is often expressed in terms of hundredths of a gray, or centi-grays. One gray is equivalent to 100 RAD.

- **Sievert (Sv)**

- The Sievert is a unit used to derive a quantity called equivalent dose. This relates the absorbed dose in human tissue to the effective biological damage of the radiation. Not all radiation has the same biological effect, even for the same amount of absorbed dose. Equivalent dose is often expressed in terms of millionths of a Sievert, or micro-Sievert. To determine equivalent dose (Sv), you multiply absorbed dose (Gy) by a quality factor (Q) that is unique to the of incident radiation. One Sievert is equivalent to 100 rem.

- **Becquerel (Bq)**

- The Becquerel is a unit used to measure a radioactivity. One Becquerel is that quantity of a radioactive material that will have 1 transformation in one second. Often radioactivity is expressed in larger units like: thousands (kBq), millions (MBq) or even billions (GBq) of a Becquerel. As a result of having one Becquerel being equal to one transformation per second, there are 3.7 x 10¹⁰ Bq in one curie.

Prawnie dozwolone dawki promieniowania dla różnych organów (legal dose limits) pracowników przemysłu atomowego NEW (Nuclear Energy Worker) NEW był dawniej nazywany AWR (Atomic Radiation Worker)

DOSE LIMITS

Purpose : To maintain individual doses to levels where the risk of detrimental effects from radiation exposure is acceptably low.



CNSC DOSE LIMITS

ORGAN OR TISSUE	Annual Dose Limits (REM)
Whole body	5 10 REM/5 year fixed period
Skin	50
Hands or feet	50
Lens of an eye	15

→ NON NEWS 100 mrem/year whole body

May 2006 (R001)

7.1-OH-15

Prawnie dozwolone dawki promieniowania dla różnych organów (z odpowiednikami w jednostkach SI)

**Table 1
CNSC Dose Limits**

Person	Period	Dose Limit
Nuclear Energy Worker (NEW)	1-year dosimetry period	5 rem (50 mSv)
	5-year dosimetry period	10 rem (100 mSv)
Pregnant NEW	Balance of pregnancy	400 mrem (4 mSv)
Person who is not a NEW	One calendar year	100 mrem (1 mSv)

**Table 2
CNSC Dose Limits (continued)**

Organ or Tissue	Person	Period	Dose Limit
Lens of an eye	(a) NEW	1-year dosimetry period	15 rem (150 mSv)
	(b) Any other person	One calendar year	1.5 rem (15 mSv)
Skin	(a) NEW	1-year dosimetry period	50 rem (500 mSv)
	(b) Any other person	One calendar year	5 rem (50 mSv)
Hands and feet	(a) NEW	1-year dosimetry period	50 rem (500 mSv)
	(b) Any other person	One calendar year	5 rem (50 mSv)

Administracyjnie dozwolone dawki promieniowania dla różnych organów (administrative dose limits) kanadyjskiej energetyki jądrowej są dużo niższe niż podane poprzednio prawnie dozwolone.

Wynika to między innymi z tego, że w dzisiejszych elektrowniach dawka promieniowania personelu jest dużo niższa niż w pierwszej elektrowni NPD ze względu na wprowadzenie wielu ulepszeń.

CY – Calendar Year, NEW (Nuclear Energy Worker)

ADM Exposure Control Levels for NEW's

ORGAN	All NEW's
<i>Whole Body</i>	1 rem/CY
<i>Tritium Uptake</i>	0.150 rem
<i>Skin, Bone and Thyroid</i>	10 rem/CY
<i>Extremities</i>	25 rem/CY

The ECL for Non-NEW's (per calendar year) and pregnant workers (for balance of pregnancy) is **10 mrem** whole body dose.

Tryt (Tritium) jest zagrożeniem wewnętrznym, emitującym wyłącznie cząski Beta (elektrony), które posiadają zbyt niską energię aby przejść przez skórę. Natomiast Tryt w postaci zatrzymanej ciężkiej wody (np. Drobiną HTO) można wchłonąć drogą absorpcji przez skórę lub oddychając zatrzymanym powietrzem.

Przed trytem zabezpiecza szczelność systemów wodnych, systemy wentylacji, osuszacze, a wreszcie osobisty sprzęt ochronny od respiratorów, przez maski zasilane powietrzem, aż do wentylowanych ubrań plastikowych. Te tzw. „Plastic Suits” zostały wynalezione przez Johna’a Stephenson’a, fizyka, wieloletniego pracownika Ontario Hydro, twórcy oddziału tzw. „Health Physics” (fizyki zdrowia).

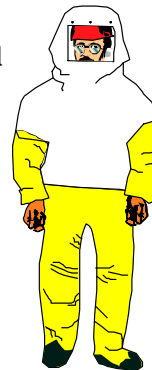
W NPD „Plastic Suits” używane były w kotłowni i w pomieszczeniu maszyn paliwowych, a w nowszych elektrowniach personel wkłada je do pracy w bunkrach reaktora (Reactor Vaults), które w przeciwieństwie do NPD są dostępne dla personelu gdy reaktor jest odstawiony.

Ubrania plastikowe „Plastic Suits” używane są przy pracy w obecności skażeń w postaci pyłów, które mogą doprowadzić do skażenia powietrza oraz przy potencjalnie wysokich stężeniach trytu

AIR SUPPLIED PLASTIC SUIT

The plastic suit is used when radioactive airborne hazards exist. Fresh air is supplied through the hose to completely envelope the user. Any airborne hazards are, therefore, not inhaled or absorbed through the skin.

These suits are used mainly in the reactor vault during routine maintenance when the reactor is shutdown.



Rdzeń reaktora NPD (NPD Reactor Core) stanowiły 132 kanały, 9 wiązek w kanale, 13 „ołówków” (Fuel Pencils) w wiązce. Wiązki z Zircalloy - 2 (stopu cyrkonu) zawierały UO_2 – Uran Naturalny. Były jednak także wypalane w reaktorze NPD eksperymentalne wiązki zawierające Tor (Thorium) i Pluton (Plutonium). Był też extra pręt z paliwa wzbogaconego (Booster Rod) nie stosowany w późniejszych rozwiązaniach (stosuje się Adjuster Rods ze stali nierdzewnej, które pochłaniają neutrony i które można wyciągnąć z rdzenia – n.p. W Darlington).

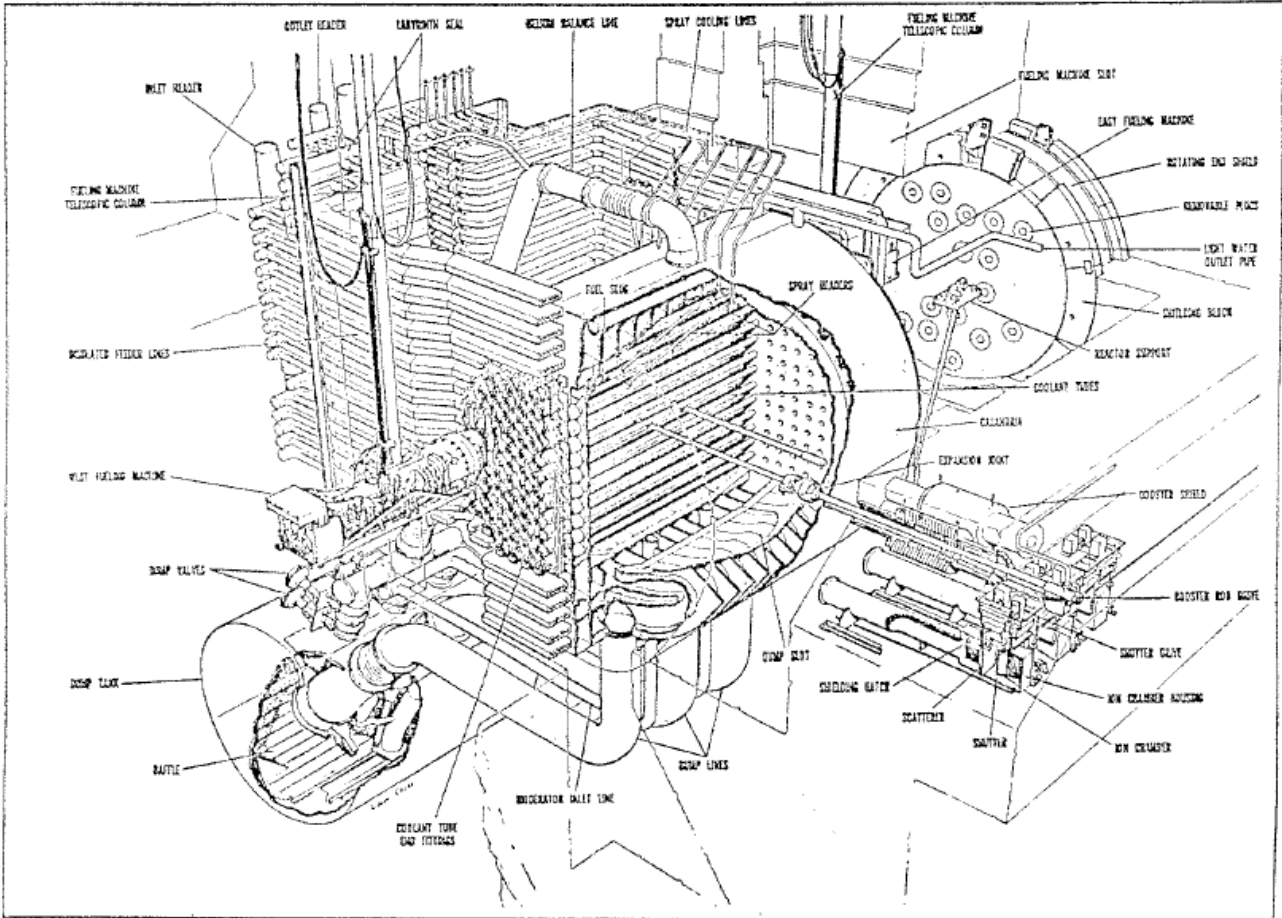


Figure 1 NPD-2 Reactor Cut-away
Wyniki i doświadczenia eksploatacyjne CANDU

1962 -1987 Nuclear Power Demonstration (NPD NGS)

W przeciwieństwie do lekko-wodnych PWR, w elektrowniach CANDU paliwo wymienia się w sposób ciągły nie wyłączając reaktora z ruchu.

Poniżej, Maszyny Paliwowe Wschodnia i Zachodnia (East and West F/M's) ustawione przed korkami obu stron tego samego kanału

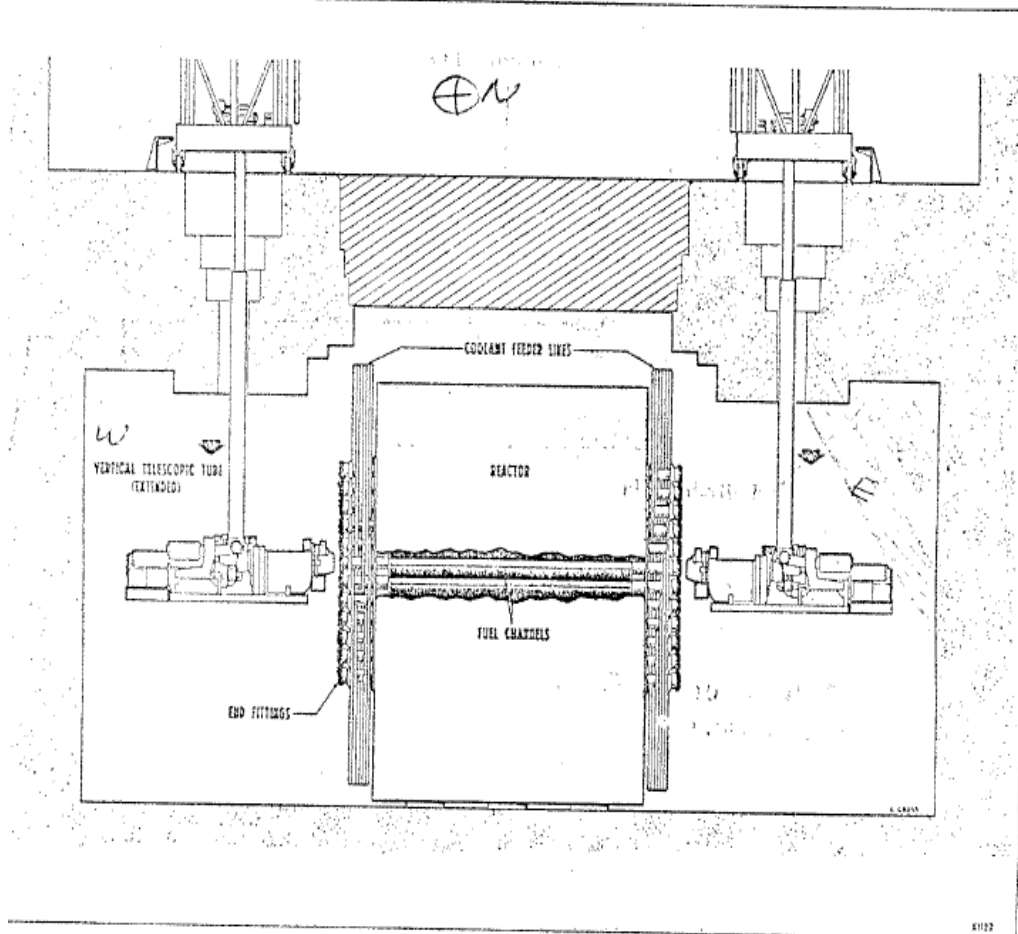
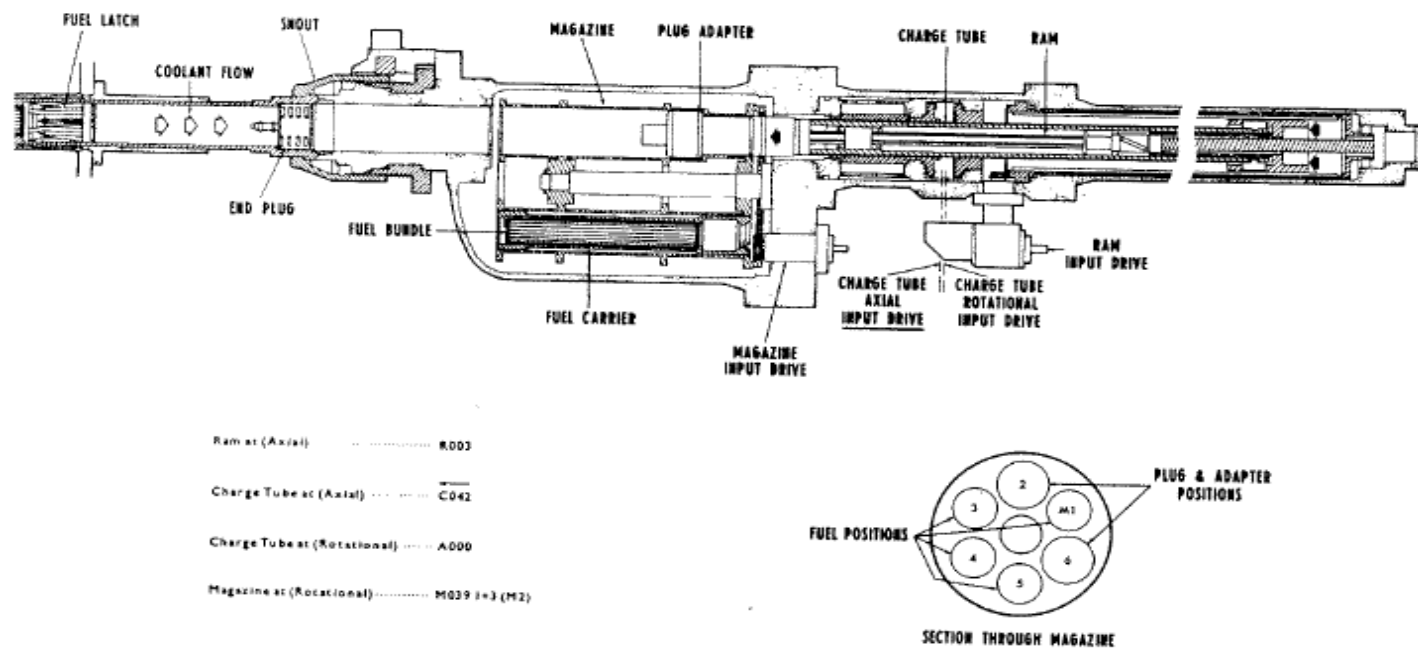


Figure 7 Both Fuelling Machines at Selected Fuel Channel

Głowice Maszyny Paliwowej w NPD i w pierwszej wieloblokowej el. CANDU miały napęd olejowy (motory hydrauliczne), nowsze elektrownie mają F/M's o napędzie elektrycznym, ale podstawowe rozwiązania mechaniczne, takie jak magazynek czy operacje ruchowe są podobne.

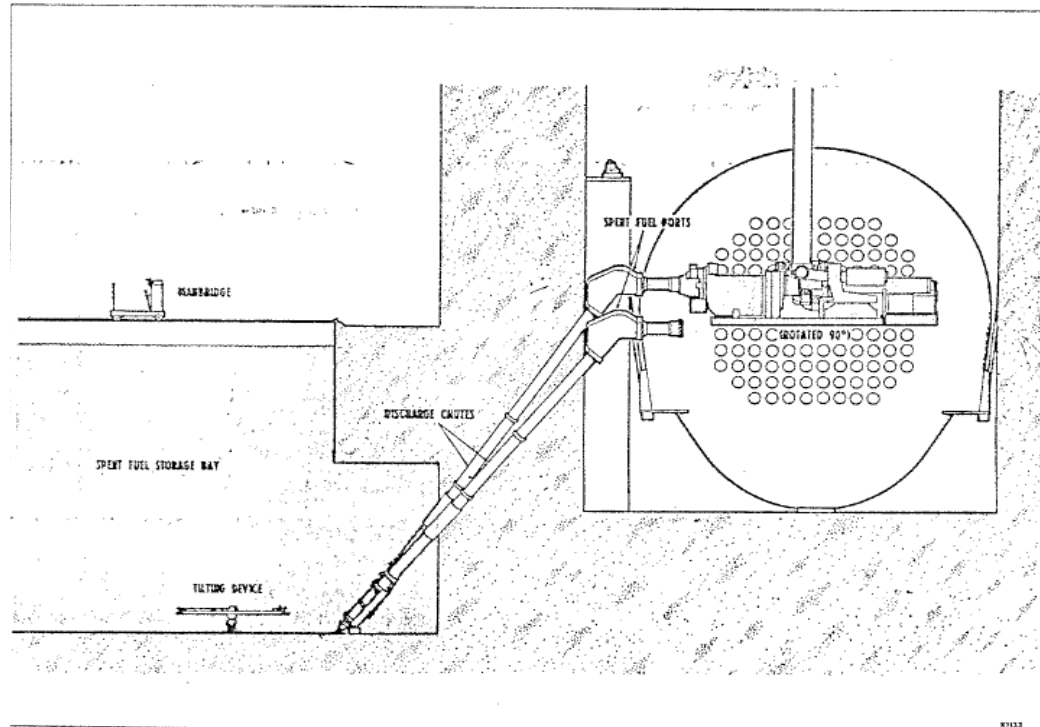


Removing End Plug, with Charge Tube at Adapter

Obroty wału napędu maszyn wymiany paliwa były kodowane za pomocą Kodu Gray'a (Gray Code) a pozycja mierzona przez urządzenie kodujące tzw. „Shaft Encoders”. Konsola miała światełka oraz były broszury z opisem pozycji odpowiadającej układowi lampek.

NPD NGS po 5-ciu latach ręcznego sterowania robotami wymiany paliwa (Fuelling Machines) wprowadziła jako pierwsza w przemyśle atomowym sterowanie cyfrowe za pomocą dwóch komputerów PDP-8 Digital Equipment Corporation (DEC). Nowsze wersje PDP-11 funkcjonują w elektrowniach CANDU w Ontario do dziś. Komputery PDP-11 były używane w Hucie Katowice i kilku dawniej tam zatrudnionych komputerowców pracuje dziś w elektrowniach kanadyjskich.

Poniżej, Maszyna Paliwowa po dokręceniu korka kanału odwraca się o 90 stopni i zakleszcza „pysk” (snout) na kanale zrzutowym wypalonego paliwa.



Maszyna Paliwowa usuwa wypaloną wiązkę do zrzutu zużytego paliwa, skąd spada do basenu zużytego paliwa.

[Fuelling Machine ejects the bundle into Spent Fuel Port and Spent Fuel (Storage) Bay]

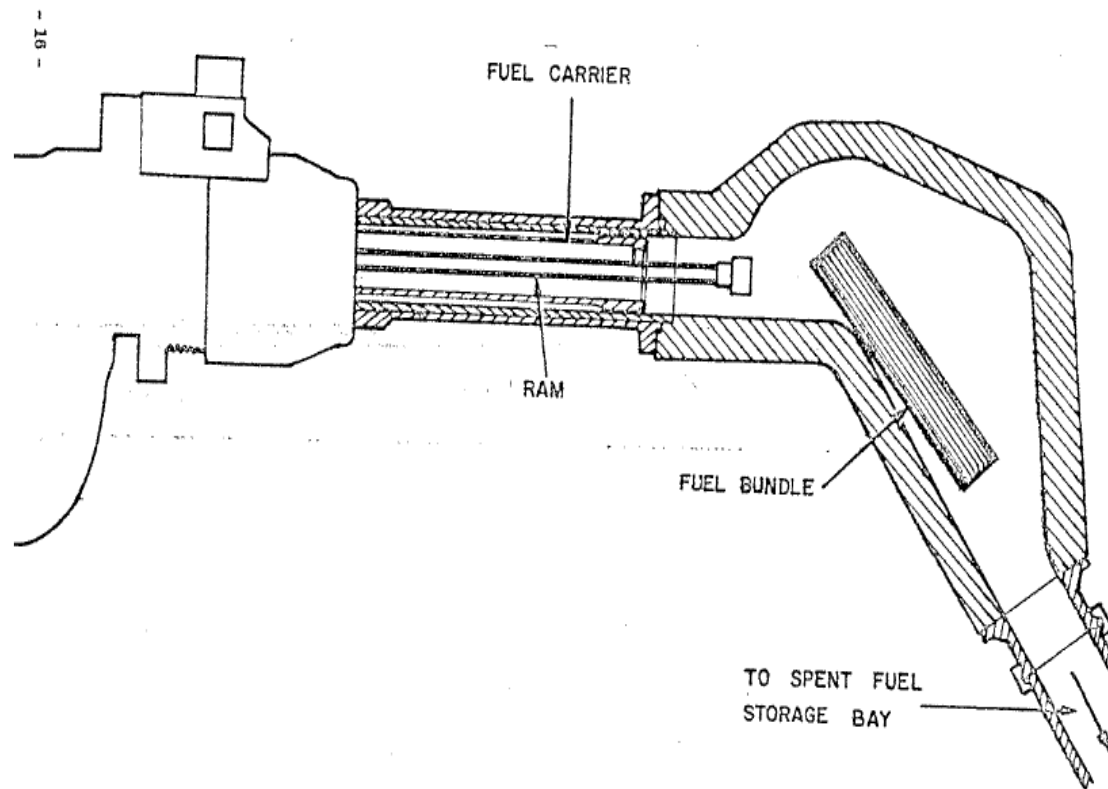
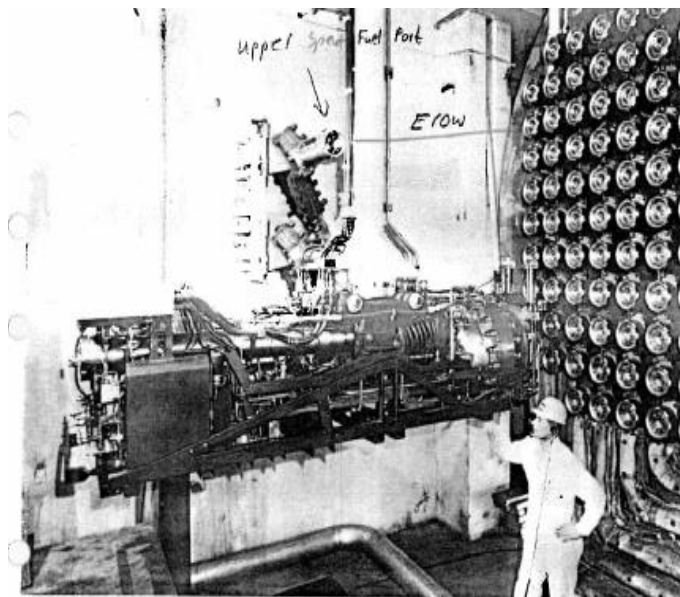


Figure 9. Fuelling Machine Discharging Spent Fuel

Reaktor NPD z maszyną paliwową podczas budowy
(po uruchomieniu elektrowni bunkier reaktora – Reactor Vault- był już
nieдоступny dla personelu)



The NPD Fuelling Machines

A description of the design, development and operation of the "on-power"
fuelling machines for Canada's first heavy water power reactor.

W. M. Brown



CANADIAN GENERAL ELECTRIC

Podstawowe zasady bezpieczeństwa eksploatacji elektrowni atomowej (typu CANDU i innych)

- The 3 „C’s”
 1. CONTROL !
 2. COOL!
 3. CONTAIN!
- Czyli: Reguluj, chłódź i lokalizuj
- Na tym opierają się specjalne systemy zabezpieczeń: Shutdown Systems I & II, Emergency Core Cooling, Containment (Dousing) itd. (Odstawianie Awaryjne, Awaryjne Chłodzenie Rdzenia, Lokalizacja Awarii)

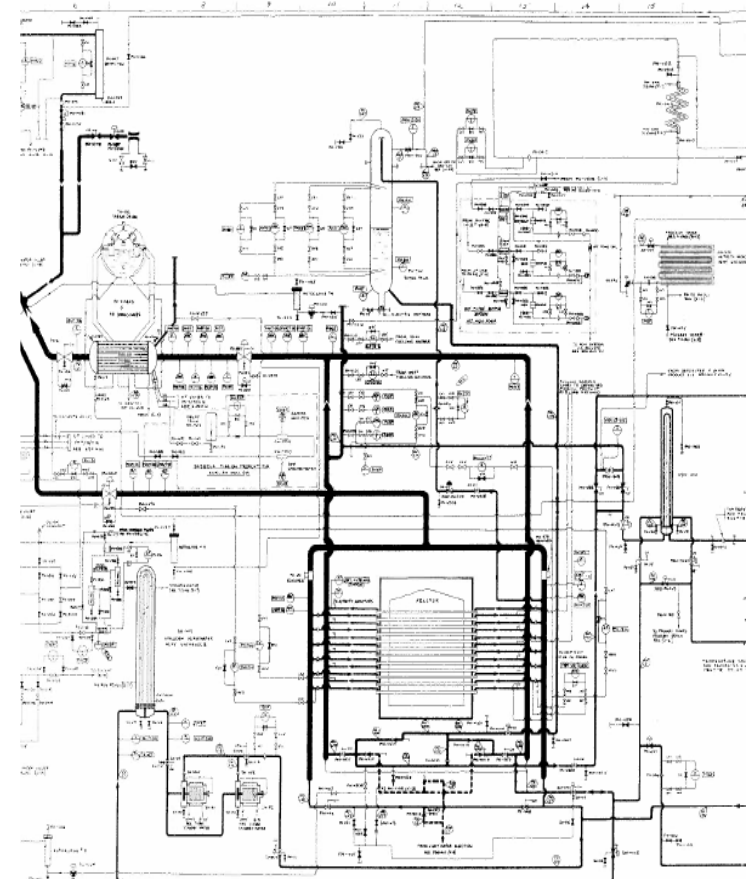
W NPD NGS system pierwotny chłodzenia Primary Heat Transport (PHT) i system moderatora były połączone przez układ odpowiednich zaworów. Dlatego w NPD mówiono o „Reactor Grade Heavy Water”, która zarówno w obiegu pierwotnym jak i wtórnym miała zawartość 99.75% D₂O. Wodę z przecieków i z osuszaczy zbierano, bo wszystko powyżej 1% zawartości D₂O opłaca się uzdatniać. Uzdatniacz (Upgrador) był ulokowany w Chalk River Nuclear Laboratories (AECL-CRNL) 20 km na wschód - wzdłuż TransCanada Hwy (Hwy 17) gdzie ciężką wodę dowożono i przywożono w beczkach ze stali nierdzewnej (Stainless Steel Drums). Zawartość Trytu w chłodziwie i moderatorze NPD wynosiła w 1987 roku 6.94 Ci/kg.

Poniżej schemat PHT (HTS) , NPD NGS

W nowych elektrowniach PHT i Moderator są zupełnie oddzielone co znacznie obniżyło potencjalne stężenie trytu w powietrzu przy przeciekach. PHT ma czystość („isotopic”) w przedziale 97-98%, zaś Moderator >99.75%.

Elektrownia DNGS 4 x 935 MW(e) posiada Station Upgrader do uzdatniania D₂O oraz instalację kryogeniczną usuwania Trytu – Tritium Removal Facility.

Zatwierdzone Zasady Eksploatacji (Operating Policies & Principles) ograniczają zawartość Trytu w obiegu chłodzenia pierwotnego do 1 Ci/kg. Emisje trytu regulują bardzo surowe normy ochrony środowiska.



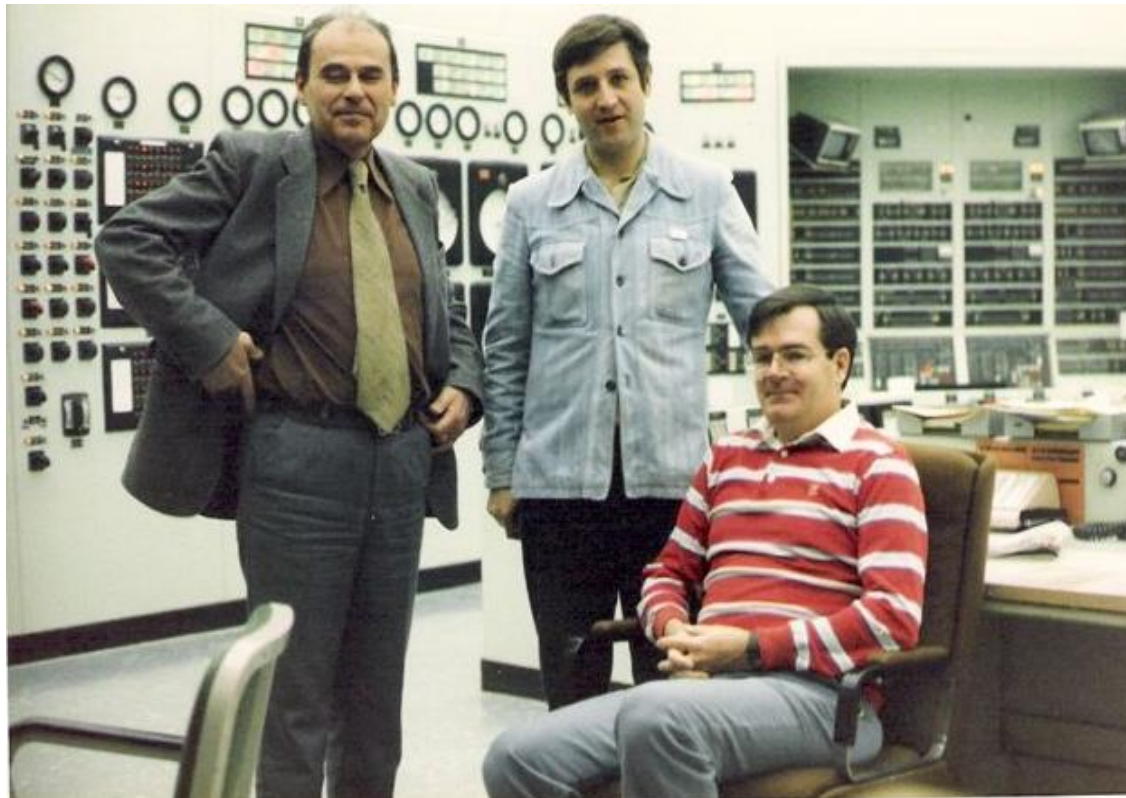
CANDU używa taniego Uranu Naturalnego jako paliwa. Wiązki wymienia się z zachowaniem ruchu reaktora przez cały czas jego pracy.

Ręczne sterowanie robotów-maszyn paliwowych (Fuelling Machines) w latach 1962-1967 było bardzo kłopotliwe ze względu na wymaganą precyzję operacji.

Wprowadzono więc sterowanie komputerowe co stało się standardem dla elektrowni CANDU.

1984: Nastawnia NPD (NPD Control Room) – w głębi z prawej konsola sterowania maszynami (robotami) wymiany paliwa (F/M console)

Od lewej: Pan Ociepka z Energorozruchu w Gliwicach (?), D. Kulczynski i Nastawniczy (First Operator) Laurie Doucet



Wyniki i doświadczenia eksploatacyjne CANDU

W NPD, w przypadku uszkodzonego paliwa na elementach maszyn paliwowych występowały wysokie pola promieniowania.

AECL zaproponowało odkażenie za pomocą specjalnych odczynników OPG (Oxalic Peroxide Gluconic) i związanie ścieków za pomocą cementu.

D. Kulczyński zaprojektował później podobną, trwałą instalację, którą miano wykorzystać w Bruce NGS

NPD IN SERVICE REPORT IR-3522-46

1.0 SUMMARY OF INFORMATION PRESENTED

On April 13, 1986 during back fuelling operations #B00978S was damaged contaminating #1 F/M Head.

High fields of up to 70 rem/h were reduced to approximately 650 mrem/h in the course of the three head flushes with OPG solution. The waste was solidified and shipped to CRNL for disposal. In addition to #1 Head decontamination the job provided valuable inputs to standardize such tasks in the future.

2.0 GENERAL CONCLUSIONS

- 2.1 Decontamination of Fuelling Machine Heads with OPG solution (first tested on #3 Head - reference NPD-IR-3522-44) has proven to be useful in reducing high fields by the consecutive repetitions of flush and rinse operations.
- 2.2 Visual inspection and functional tests of the decontaminated #1 Head have not indicated excessive corrosion thus OPG flushes do not necessarily have to be followed by a complete head overhaul.
- 2.3 The permanent Head Decontamination Rig to be designed will incorporate observations made and experience gained during the #3 and #1 Heads decontamination.

7.0 REFERENCES

1. NPD-IR-3522-44 (#3 Head Decontamination by M.S. Hubert)
2. Decontamination of #1 NPD Fuelling Machine Head using Oxalic Peroxide Gluconic solution (by R.A. Speranzini (CRNL) - pending).
3. NPD NGS Radiological Log (pertinent entries).
4. #1 Head Chemical Cleanup Work Log.

Date: June, 1986

Prepared By: D. Kulczynski

000-107

Wyniki i doświadczenia eksploatacyjne CANDU

Uproszczenie schematu wymiany paliwa zaowocowało praktycznie bezawaryjną pracą tego systemu.

Ewolucja systemu CANDU poszła w kierunku zminimalizowania przypadków uszkodzonego paliwa i uproszczenia sposobu jego wymiany. Np. w el. Darlington 4 x 935MW(e) w ciągu dnia wymienia się statystycznie 17 wiązek na reaktor (4 kanały po 4 wiązki + jedna z uśrednienia dni kiedy wymienia się 20 wiązek). Każda operacja wymiany paliwa polega na wprowadzeniu czterech nowych wiązek i wypchnięcia czterech wypalonych. W przeciwieństwie do NPD nie wprowadza się częściowo wypalonych wiązek na inne pozycje w innych kanałach. Rezultatem jest prawie bezawaryjne funkcjonowanie systemu wymiany paliwa i bardzo niskie pola promieniowania w porównaniu z NPD.

Odkazanie za pomocą kwasów organicznych, takich jak wspomniany roztwór OPG może być obecnie stosowane tylko przed remontem kapitalnym reaktora, tj. Wymiana rur ciśnieniowych.

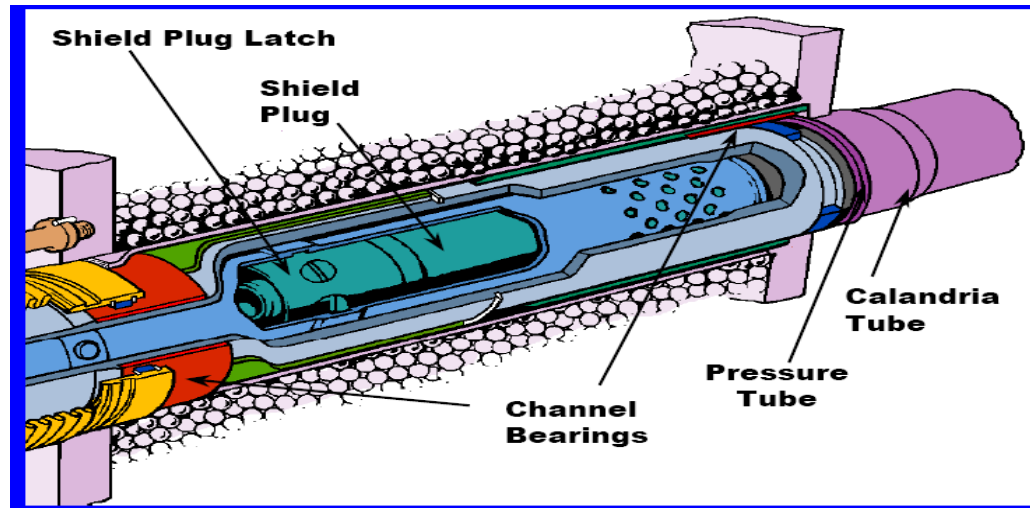
Rury ciśnieniowe ze stopu Cyrkonu i Niobu pływają pod wpływem promieniowania i zwiększają swoją długość.

W reaktorach CANDU stosuje się tzw. „bearings”- łożyska na końcach rury umożliwiając wzrost długości. Jeden koniec rury jest utwierdzony, drugi się przesuwając wzdłuż Calandrii sprężając harmonijkę stalową ‘bellows’, która zamyka przestrzeń między rurą Calandrii i rurą ciśnieniową.

Po 15 latach pracy uwalnia się koniec dotychczas utwierdzony, a uwalnia przeciwny. W roku 2007 w reaktorze D-2 uwolniono końce wschodnie rur ciśnieniowych, a utwierdzono zachodnie.

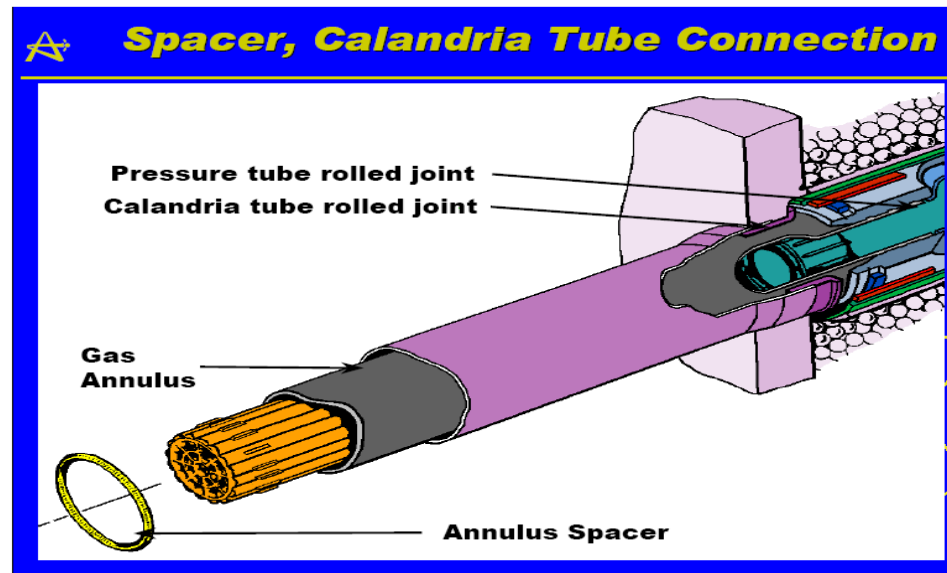
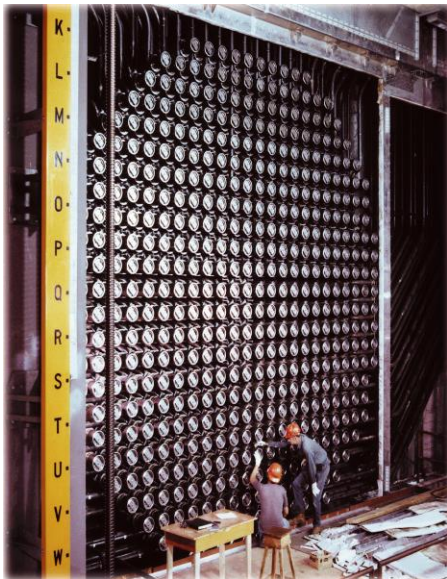
Przy obecnym stanie rozwoju metalurgii, po 25 latach trzeba rury ciśnieniowe wymieniać co było z dużym powodzeniem zastosowane w PNGS-A pierwszej wieloblokowej elektrowni CANDU w Kanadzie, a obecnie wymienia się je w reaktorach B-1 i B-2 (Bruce A).

Poniżej, rysunek rury ciśnieniowej (Pressure Tube) i łożyska.



Pod wpływem promieniowania i ciężaru paliwa rury ciśnieniowe ze stopu Cyrkonu i Niobu mogą dotykać rur Calandrii (w NPD aluminiowych). To mogło powodować powstawanie bąbli (blisters) i pęknięcia rur ciśnieniowych. Było to związane z fenomenem metalurgicznym tzw. „Delayed Hydrogen Embrittlement Cracking” – pęknięcia w wyniku powstawania wodorków w Cyrkonie-Niobie pod wysokim ciśnieniem.

Potencjalny problem wyeliminowano przez odpowiedni proces metalurgiczny przy wytwarzaniu rur Zircaloy-2, Zr-2.5% Nb, odpowiednie ustawienie tzw. „sprężyn podwiązkowych” (Garter Spings) i rozpieraczy (spacers) pomiędzy rurami ciśnieniowymi i rurami Calandrii oraz przez odpowiednie manewry mocy, szybkość chłodzenia i grzania pierwotnego układu chłodzenia tak aby rozpuszczać wodorki metalu i eliminować naprężenia wewnętrzne.

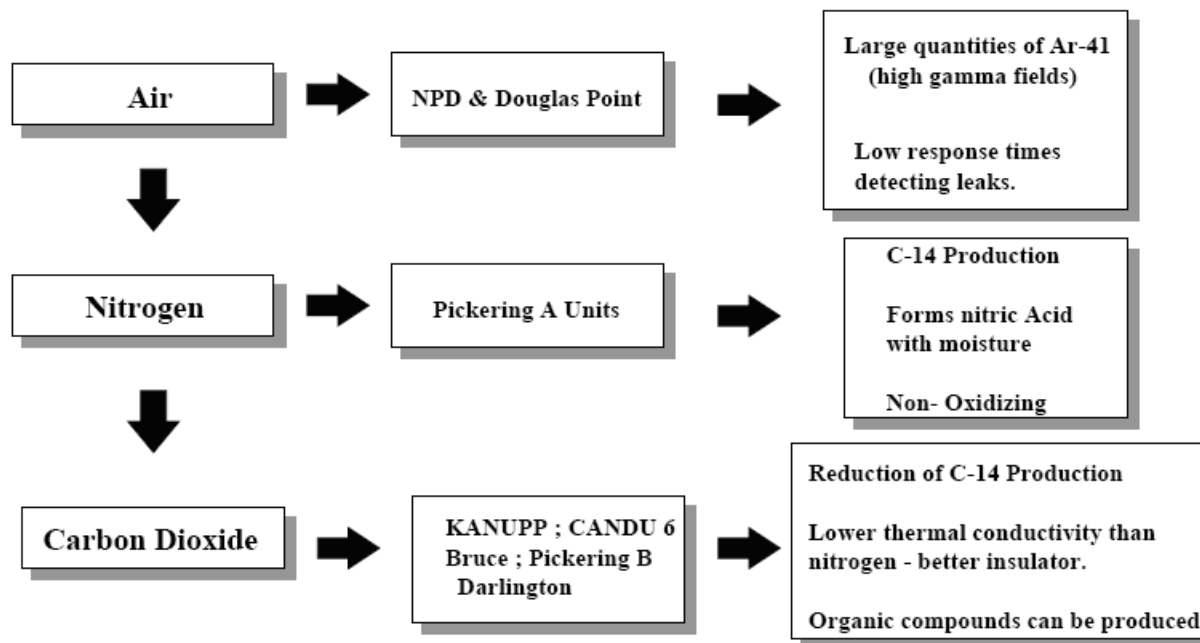




Elektrownia NPD została zamknięta w swoje 25-te urodziny. Przysłużyła się temu katastrofa w Czarnobylu i związana z tym anty-atomowa histeria na całym świecie, której ofiarą padł także polski Żarnowiec. NPD mogła bezpiecznie pracować dłużej, ale miała tylko jeden system odstawiania awaryjnego (only one shutdown system) oraz nie miała sposobu na monitorowanie integralności rur na pęknięcia. W nowoczesnych elektrowniach CANDU przestrzeń między Calandria Tubes i Pressure Tubes jest wypełniona przez tzw. Annulus Gas - CO₂, który przepływa przez higrometry. W NPD przestrzeń ta była otwarta i przepływało przez nią powietrze.

Rodzaj gazu międzururowego – annulus gas

History of the Annulus Gas System



Overhead 15

Annulus Gas System
97146-224

**Elektrownia DNGS, 4 x 935 MW(e) brutto
od strony południowo- wschodniej (część nuklearna)**

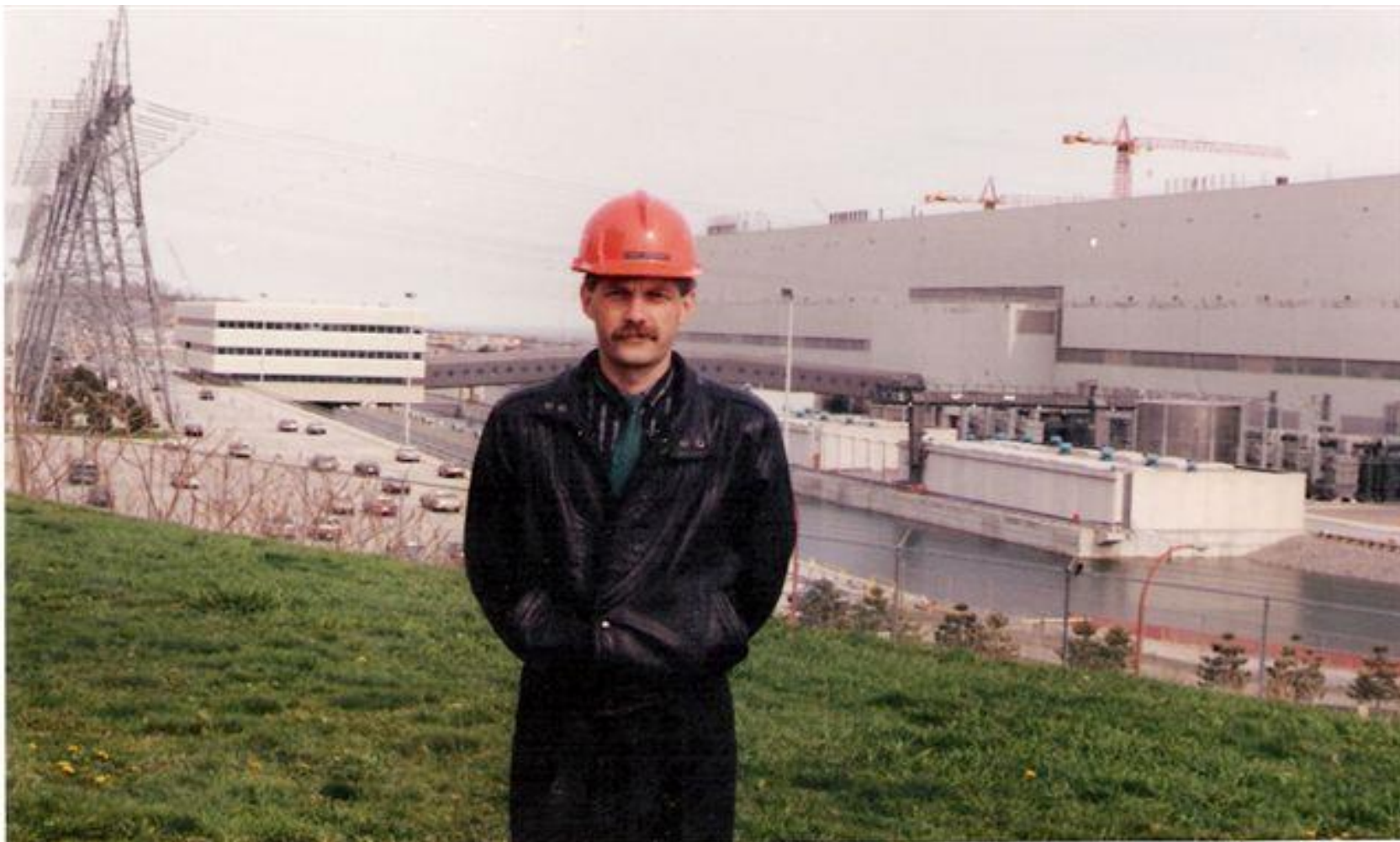
– u góry- jeszcze w budowie

Budynki Reaktorów Bloków 4, 3 , 2 z kominami (Stacks) i Wieża (próżniowa) Lokalizacji Awarii (Vacuum Building)



Elektrownia DNGS-A, 4 x 935 MW(e) od strony płn. – zach.: (część konwencjonalna)
Budynek Administracyjny, most do budynku głównego elektrowni przez zatokę
dopływu wody obiegowej, (Forebay), pompownie, zbiornik wody zdemineralizowanej,
Transformatory Blokowe,

Na zdjęciu Technical Superintendent M. Krukowski.



Nuclear Subject Classification Index

UNIFORM SUBJECT INDEX (USI)

SYSTEM CLASSIFICATION INDEX SCI

Tak są uporządkowane wszystkie specyfikacje techniczne, rysunki i instrukcje eksploatacyjne (Design Manuals and Drawings as well as Operating Manuals)

- **USI/SCI** **Title**
- **32000 MODERATOR & AUXILIARIES SYSTEMS**
- **32010 IN SERVICE INSPECTION**
- **32100 MAIN MODERATOR**
- **32110 MODERATOR MAIN CIRCUIT COMPONENTS**
- **32111 Heat Exchanger**
- **32112 Pumps & Motors 33000 PRIMARY HEAT TRANSPORT SYSTEM**
- **33100 HEAT TRANSPORT MAIN CIRCUIT**
- **33103 Valves**
- **33108 Hangers & Restraints**
- **33109 Piping**
- **33110 STEAM GENERATOR**
- **40005 Turbine Generator - General TURBINE MAIN STEAM**
- **41110 CYLINDERS**
- **41120 ROTORS**
- **41130 BLADES**
- **41150 TURBINE TURNING GEAR**
- **41160 TURBINE MAIN STEAM VALVE**
- **41161 Turbine Emergency Stop Valves**
- **41162 Turbine Governing Valves**

Eksploatacja systemu opisanego przez SCI/USI odbywa się wg odpowiedniej Instrukcji Eksploatacyjnej

(Operation of a system designated by USI/SCI is prescribed by the pertinent Operating Manual)

	System HEAT TRANSPORT SYSTEM	Document Number. NK38-OM-33000	Section 0
TITLE		Units	Revision. R075
			Page 1 of 9

NK38-OM-33000-R075

HEAT TRANSPORT SYSTEM

(Includes SCIs 33100, 33150, 33300, 33340, 33410, 33840)

USAGE CLASSIFICATION: INFORMATION

ABSTRACT OF REVISION:

- Section 4.1.3.6 - Added new sub-section, Changing SDC HX Duty While in LLDS.
- Sections 4.2.2.2, 4.2.3.2 - Added operation of devices under LLDS RSA during refill of pressurizer and bleed condenser from LLDS.
- Section 4.4.1.2 - Enhanced preamble to provide consistency with N-PROC-OP-0001.
- Section 5.2.2 - Minor enhancements throughout and actions for placing HTS P&I in solid/normal mode control have been clarified.

**Bezpieczny ruch elektrowni zapewniają rygorystycznie przestrzegane
Zatwierdzone Zasady Eksploatacji
kontrolowane przez Dozór Jądrowy CNSC. Zasady Eksploatacji narzucają między
innymi standardy zasilania podstawowego i rezerwowego.**

(Safe Operation is ensured through the rigorous adherence to OP&P's monitored by the Regulator CNSC)

NUCLEAR

NK38-OPP-03600-R021

OPERATING POLICIES AND PRINCIPLES

		DATE:
Prepared by:	_____ V. Carter Section Manager - Reporting Regulatory Affairs	_____
Verified by:	_____ G. Martin Section Manager - Thermal Hydraulics & Assessment Reactor Safety	_____
Authorized by:	_____ B. Duncan Director Operations & Maintenance	_____

Systemy zabezpieczeń Reaktora

Section 5 Special Safety Systems

5.1 INTRODUCTION

5.1.1 General

Inherent in the Canadian approach to reactor safety is the requirement to consider a number of postulated equipment failure conditions and to ensure that any predicted consequential radioactive releases are below allowable limits.

To meet this requirement a number of additional systems which are not normally involved with the power production aspect of the station are needed. These systems are called special safety systems and include:

1. The first shutdown system.
2. The second shutdown system.
3. The emergency coolant injection system.
4. The containment system.

The new AECB *Regulatory Documents* (numbers R-7, R-8, and R-9), came into effect on Feb. 21, 1991 for Darlington NGS.

CANDU-Defence in depth (wielopoziomowe bezpieczeństwo)

5.1.2 Independence of Special Safety Systems

To effectively reduce the risk presented by a postulated process system failure, special safety systems are independent of process systems whose failure might require the subsequent action of the special safety system.

To the greatest practical extent, the special safety systems will also be independent of each other. This requirement evolves from the Canadian reactor safety principle of analyzing each postulated process system failure in conjunction with a credible failure mode in each of the special safety systems in turn. As an additional feature, credit is not taken for both shutdown systems acting together.

More detailed separation and independence principles and practices are outlined in the *Darlington NGS A Nuclear Safety Design Guides*, or referenced therein, and in the electrical systems Division Separation Design Guide.

5.1.3 Reliability of Special Safety Systems

To provide a high degree of assurance that a special safety system will perform as designed when called upon to do so, the unavailability of each must be less than 10^{-3} a/a. Also, where such a choice is available, special safety system components are designed such that the most likely failure modes are in the safe direction.

Elektrownia, DNGS-A 4 x 935 MW(e) brutto

– 4 x 881 MW(e) netto

(zaprojektowana, wybudowana i do 1999 eksploatowana przez Ontario Hydro)

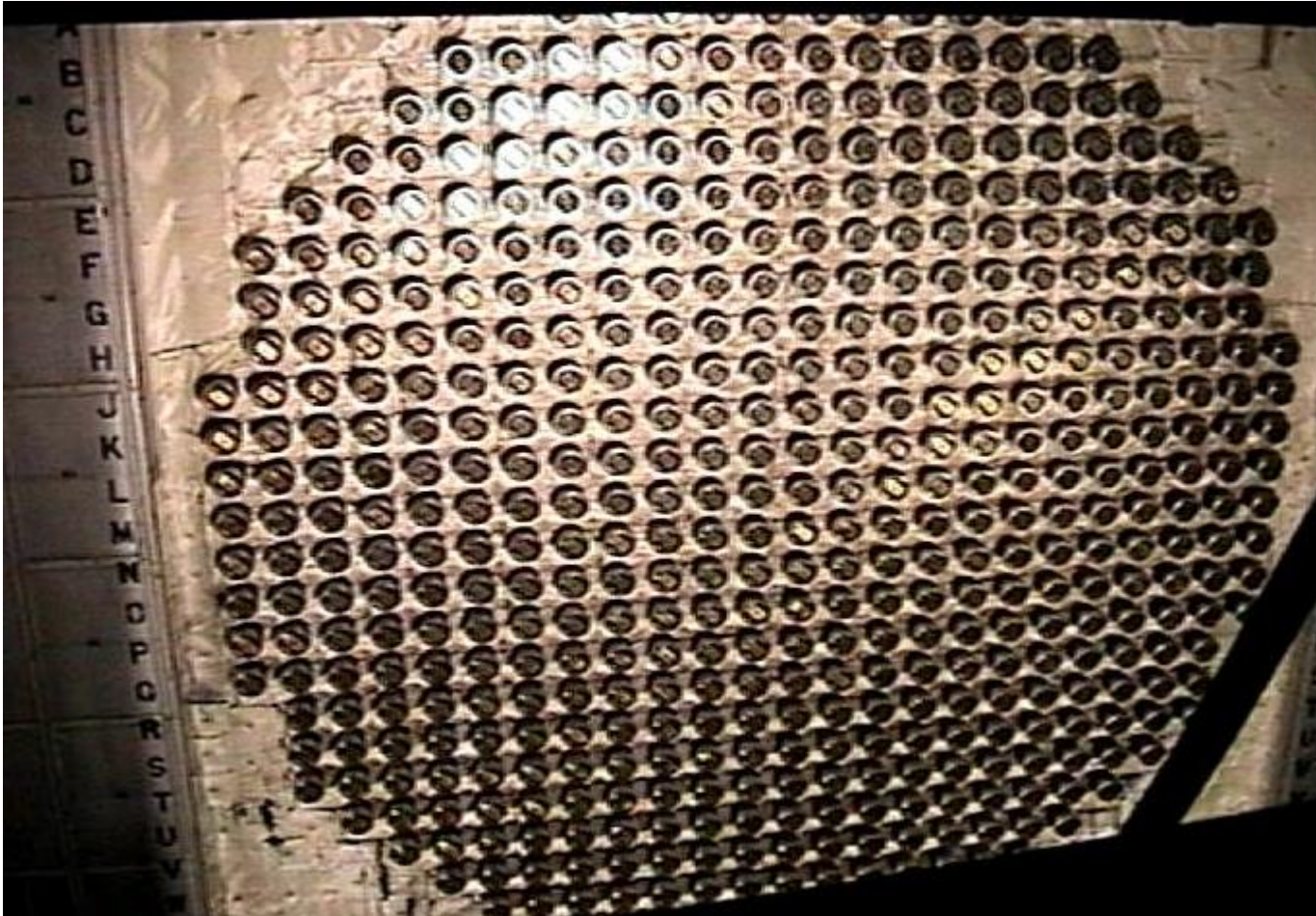
<i>Location</i>	Town of Newcastle, Ontario	<i>Moderator</i>	Deuterium Oxide (D ₂ O-heavy water)
<i>Owner, operator</i>	Ontario Hydro	<i>Coolant</i>	Pressurized heavy water
<i>Designers</i>	Ontario Hydro	<i>Type</i>	Horizontal pressure tube
<i>Number of units in station</i>	Four	<i>Construction</i>	Start of construction late 1977
<i>Rated output per unit</i>	Generator output 935 MW(e) Self-consumption 54 MW(e) Net electrical 881 MW(e)	<i>Schedule</i>	In-service dates: Unit 2 – 1988 Unit 1 – 1989 Unit 3 – 1991 Unit 4 – 1992
<i>Overall net efficiency</i>	31.7%		
<i>Fuel</i>	Natural Uranium Dioxide (UO ₂)		

Rdzeń Reaktora

Reactor core	<i>Pressure tubes</i>		<i>Average reflector thickness at midpoint</i>	700 mm (27.6 in.)
	<i>Purpose</i>	Fuel channels & primary heat transport	<i>Fuel load</i>	6 240 bundles (108 Mg U (237,600 lb. U))
	<i>Quantity</i>	480 tubes (24 x 24 array)	<i>Moderator and Reflector D₂O</i>	312 Mg D ₂ O (686,400 lb. D ₂ O)
	<i>Material</i>	Zirconium-Niobium alloy	<i>Maximum channel power</i>	6.4 MW
	<i>Inside diameter</i>	100.0 mm (3.94 in.)	<i>Average burn-up</i>	164 MWh per kg. U
	<i>Wall thickness</i>	4.0 mm (0.16 in.)	<i>Reactor control</i>	2 digital computers per unit
	<i>Lattice Pitch</i>	285.8 mm (11.25 in.)		
	<i>Core Radius</i>	3 532 mm (139.06 in.)		
	<i>Core Length</i>	5 944 mm (234.0 in.)		

Wylot/wlot kanałów reaktora

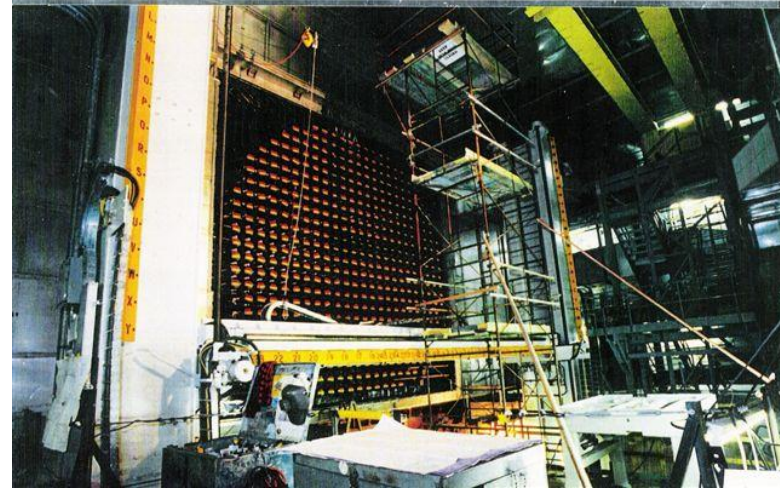
view of the reactor face



Airlock ('śluza powietrzna') separująca atmosferę bunkra reaktora gdzie może być Tryt od reszty elektrowni.

Z prawej, końcówki 480 kanałów reaktora D-2

Na dole: pracownik w chroniącym przed trytem, wentylowanym ubraniu plastikowym (Air supplied plastic suit).



Kontrola reaktywości

Reactivity control units

Shutdown systems

Shut-off rods

Purpose

Safety devices to quickly terminate reactor operation

Quantity

32 rods

Type

Stainless steel – cadmium – stainless steel sandwich in the form of a tube
Vertical through lattice

Orientation

Reactivity worth

- 49 mk within 2.0 sec.

Drive mechanism

Winch & cable driven via an electro magnetic friction clutch by a constant speed induction motor

Liquid injection shutdown system

Purpose

Safety system to terminate reactor operation

Type

Gadolinium nitrate solution

Reactivity worth

- 55 mk

Injection method

Pressurized helium to drive solution into bulk moderator through nozzles

Control systems liquid zone control units

Purpose

Suppress unwanted changes in neutron flux distribution

Liquid zone control units

Quantity

14 separate zones

Type

Natural water compartments
Vertical

Orientation

Reactivity rate of change

± 0.1 mk per sec.

Reactivity worth

6.3 mk (full to empty)

Control absorber rods

Quantity

Inserted if reactivity rate of change of Liquid Zone Control system inadequate

Purpose

Quantity

4 rods

Type

Same as Shut-off Rods

Reactivity rate of change

± 0.1 mk per sec.

Reactivity worth

- 9 mk (inserted)

Adjuster rods

Purpose

Normally inserted to limit fuel power; can be withdrawn to provide increased reactivity

Quantity

24 rods

Type

Stainless steel

Reactivity rate of change

0.04 mk per sec.

Reactivity worth

+ 17 mk

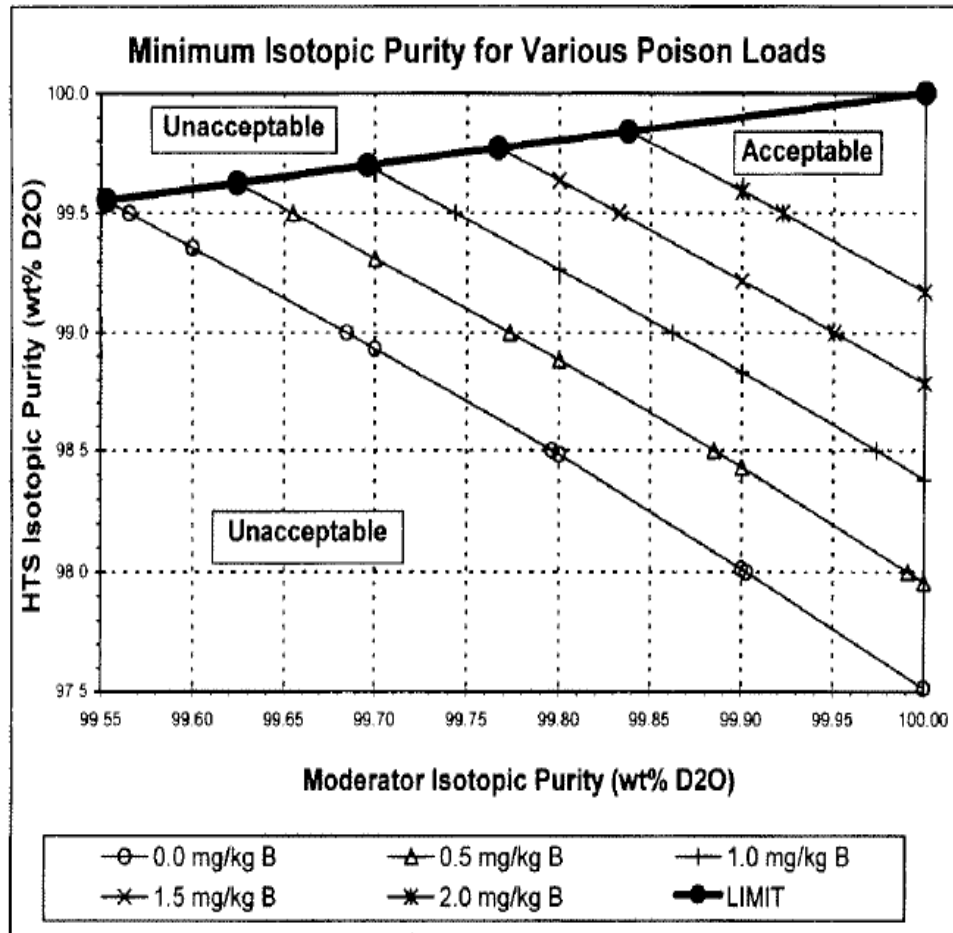
Moderator

i

Obieg Chłodzenia Pierwotnego (PHT)

Moderator	<i>Type</i>	Heavy water	<i>Heat load</i>	139.7 MW (th)
	<i>Total volume</i>	306.3 m ³ (10,818.2 ft. ³)	<i>(max. design)</i>	
	<i>Purity</i>	99.75% D ₂ O by weight		
Primary coolant	<i>Type</i>	Pressurized heavy water	<i>Reactor outlet temperature</i>	310°C (590°F)
	<i>Quantity</i>	280 Mg (617,290 lb.) at 37.8°C (100°F)	<i>Reactor outlet header pressure</i>	10.0 MPa(a) (1450 psia)
	<i>Flow per channel (max.)</i>	25.3 kg/s (200,000 lb./hr)	<i>No. of pumps</i>	4 per unit
	<i>Reactor inlet coolant temperature</i>	266°C (511°F)		

Coolant isotopic is usually 97-98%, much lower than the 99.8% typical of moderator isotopic

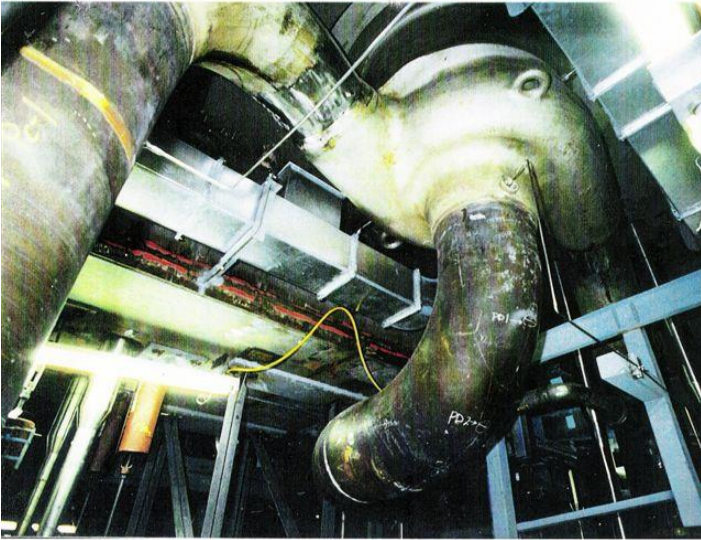


Elektrownia, 4 x 935 MW(e): Chłodnice Moderatora HX1 i HX2 (2 x 50%)

Moderator Heat Exchangers



Z lewej – PHT Pump: Pompa chłodzenia obiegu pierwotnego; 4 pompy na blok.
Z prawej: (zapasowy) silnik (PHT Motor) 13.8 kV, 9 MW [1800 RPM – poslizg (s)]



Transformatory, wyłączniki, generatory zasilania rezerwowego

Transformers	<i>Main output</i>	12-330,000 kVA, 1 phase, 60 Hz, 21.45/525 kV (3 per unit)	<i>System Service</i>	4-80,000 kVA, 3 phase, 60 Hz, 500/13.8/13.8 kV
	<i>Unit service</i>	4-80,000 kVa, 3 phase, 60 Hz, 22/13.8/13.8 kV		
Circuit breakers	<i>500 kV</i>	18 – 2 cycle, 4000 A, 100 kA, SF ₆ GIS breakers	<i>4.16 kV</i>	298 – 250 MVA, 1200 A and 2000 A
	<i>13.8 kV</i>	154 – 750 MVA, 1200 A and 2000 A		
Standby power	<i>Combustion turbines</i>	<i>4 – 26 MW, 13.8 kV</i>	<i>Emergency power generators</i>	<i>2 – 6.8 MW, 4.16 kV</i>

Zasilanie podstawowe i rezerwowe w el. CANDU

Każda elektrownia CANDU, np. DNGS musi mieć zasilanie rezerwowe tzw. klasę III, która zapewni chłodzenie paliwa w przypadku utraty zasilania podstawowego tzw. klasy IV (z sieci i z transformatora odczepowego potrzeb własnych). Oprócz klasy III istnieje zasilanie EPS sprawne po trzęsieniu ziemi.

Systemy regulacji mocy reaktora, zabezpieczenia elektryczne i specjalne systemy zabezpieczeń reaktora mają zasilanie całkowicie od sieci niezależne.

Zależnie od wpływu na bezpieczeństwo ruchu reaktora

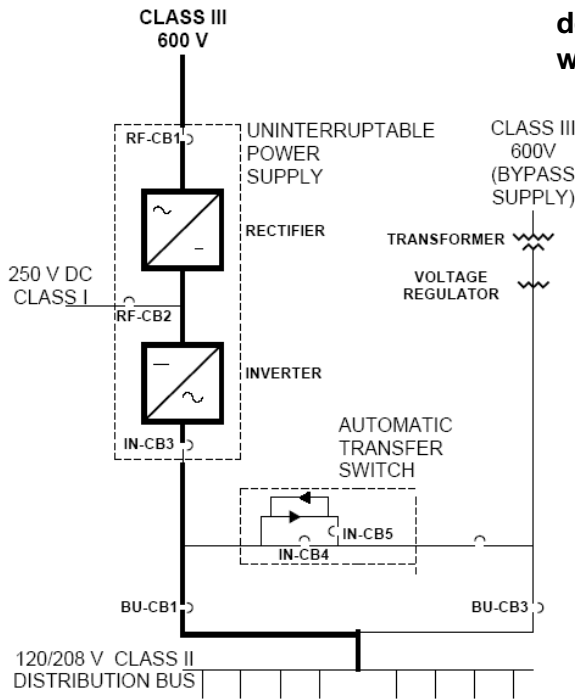
mówimy o klasach zasilania IV, III, II i I.

Elektrownia nie może jednak produkować energii elektrycznej bez zasilania podstawowego (klasy IV). Zasilania podstawowego wymagają np. 9-cio megawatowe pompy wody chłodzącej obiegu pierwotnego (PHT Pumps).

- Class IV – Grid (System Service Transformer) & Unit Service Transformer
- Class III – Normally supplied from class IV. There are 4 SG's that start Auto on Class IV Power Loss. At least one SG must supply power within 4 minutes (this is required by DNGS OP&P 12) Emergency Power System (2 Seismically qualified EPG's) must be available within 30 minutes after manual start-up (this is required by DNGS OP&P 13)
- Class II is an AC Uninterruptible Power Supply (fed from Battery Banks through Inverters). It must be available at all times.
- Class I is a DC Uninterruptible Power Supply (fed from the aforementioned Battery Banks). It must be available at all times.

Akumulatornia (Class I dc) zasilana z sieci (Class IV/Class III) przez prostownik Class II ac jest zasilana z baterii akumulatorów przez falownik

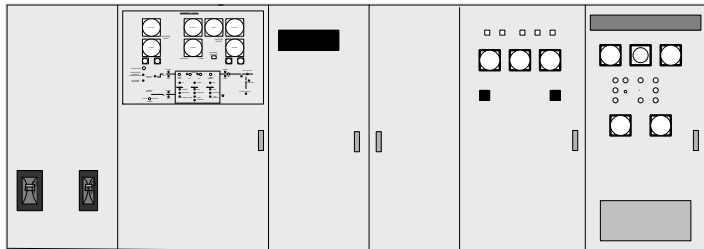
CLASS II Normal Supply



Class I 125 Vdc do sterowania wyłączników ↓



<<< Akumulatornia Class I 250 Vdc zasilająca falownik, który zasila system Class II



Prostownik, człon pomiarowy, falownik, wyłącznik, regulator

Akumulatornia Class I 48 Vdc ^

Wyłącznik 500 kV w rozdzielni głównej-wnętrzowej
to już poza terenem elektrowni
rozdzielnica z sześćfluorkiem siarki
(Synchronizing breaker - SF6)



Odłączniki i uziemiacze wyłącznika 500 kV

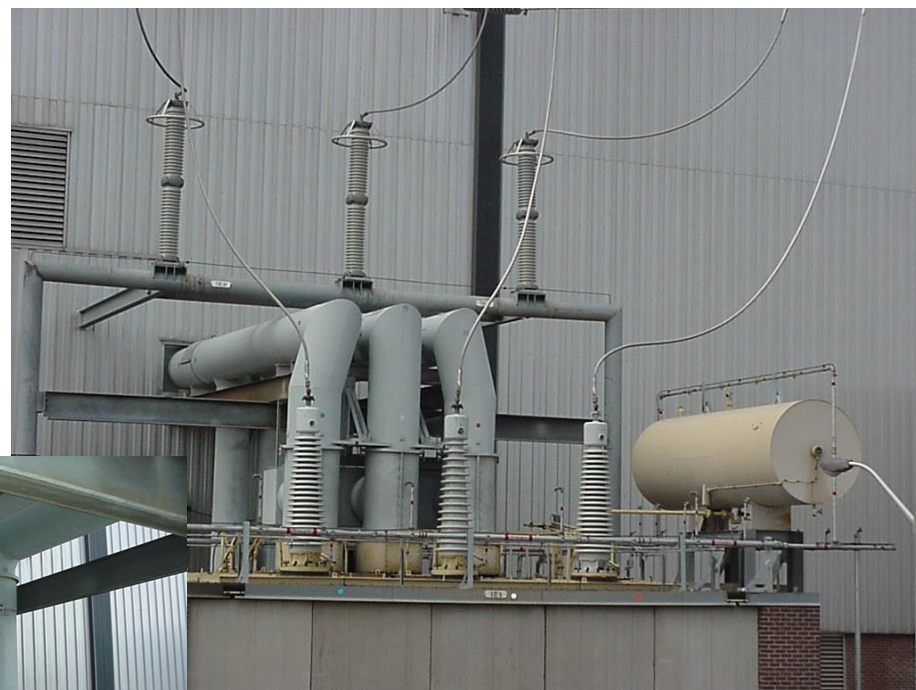
Disconnecting/grounding switches for synchronizing breaker



Z prawej : Isolated Phase Bus (IPB) – separowane-izolowane wyprowadzenie mocy generatora do transformatora blokowego trójfazowego (Main Output Transformer) w jednej z elektrowni typu CANDU.

W el. 4 x 935 MW(e) transformator blokowy to trzy transformatory jednofazowe i IPB jest tam odpowiednio większy

Z lewej: Transformator Potrzeb Własnych (sieciowy) System Service Transformer (3-fazowy, 500/13,8/13,8 kV)



Kotły, parametry pary świeżej, paliwo, turbogenerator

Steam generators	<i>Quantity</i>	4 per unit	<i>Total steam output</i>	1,310.4 kg/s (10.38 x 10 ⁶ lb./hr)
	<i>Steam pressure at drum (design)</i>	5.068 MPa(a) (735 psia)	<i>Feedwater inlet temp.</i>	176.7°C (350°F)
	<i>Steam temp. at drum</i>	264.75°C (508.5°F)		
Fuel elements	<i>Type</i>	37 element bundles, 495 mm (19.5 in.) long	<i>Total weight of bundle</i>	23.65 kg (52.1 lb.)
	<i>No. per channel</i>	13 bundles	<i>Maximum bundle power (time averaged)</i>	787 kW
	<i>Diameter of bundle</i>	102.49 mm (4.053 in.)		
	<i>Weight of UO₂ per bundle</i>	21.36 kg (47.1 lb.)		
Turbine generator	<i>Turbine</i>	One tandem compound unit per reactor with external moisture separation and steam reheat (2 stages)	<i>Throttle steam press.</i>	4.83 MPa(g) (700 psig)
	<i>No. of high pressure cylinders</i>	1 double flow	<i>Type of condenser</i>	Two pass
	<i>No. of low pressure cylinders</i>	3 double flow	<i>Cooling water flow</i>	31.6 m ³ /sec. (417,392 Igpm)
	<i>Speed</i>	1800 RPM	<i>Generator Rating (0.85% power factor)</i>	One per turbine 1100 MVA
			<i>Terminal voltage</i>	22 kV
			<i>Frequency</i>	60 Hz
				1100 MVA * 0.85 = 935 MW

Schemat obiegu wtórnego chłodzenia (tj. Schemat cyklu parowo-wodnego). Zawory zrzutowe pary do kondensatora otwierają się w przypadku wyłączenia turbiny; pozwala to utrzymać obciążenie reaktora przy utracie turbozespołu co opóźnia przestój Xenonowy (Poison Outage). Oczywiście istnieją też zawory zrzutu do atmosfery)

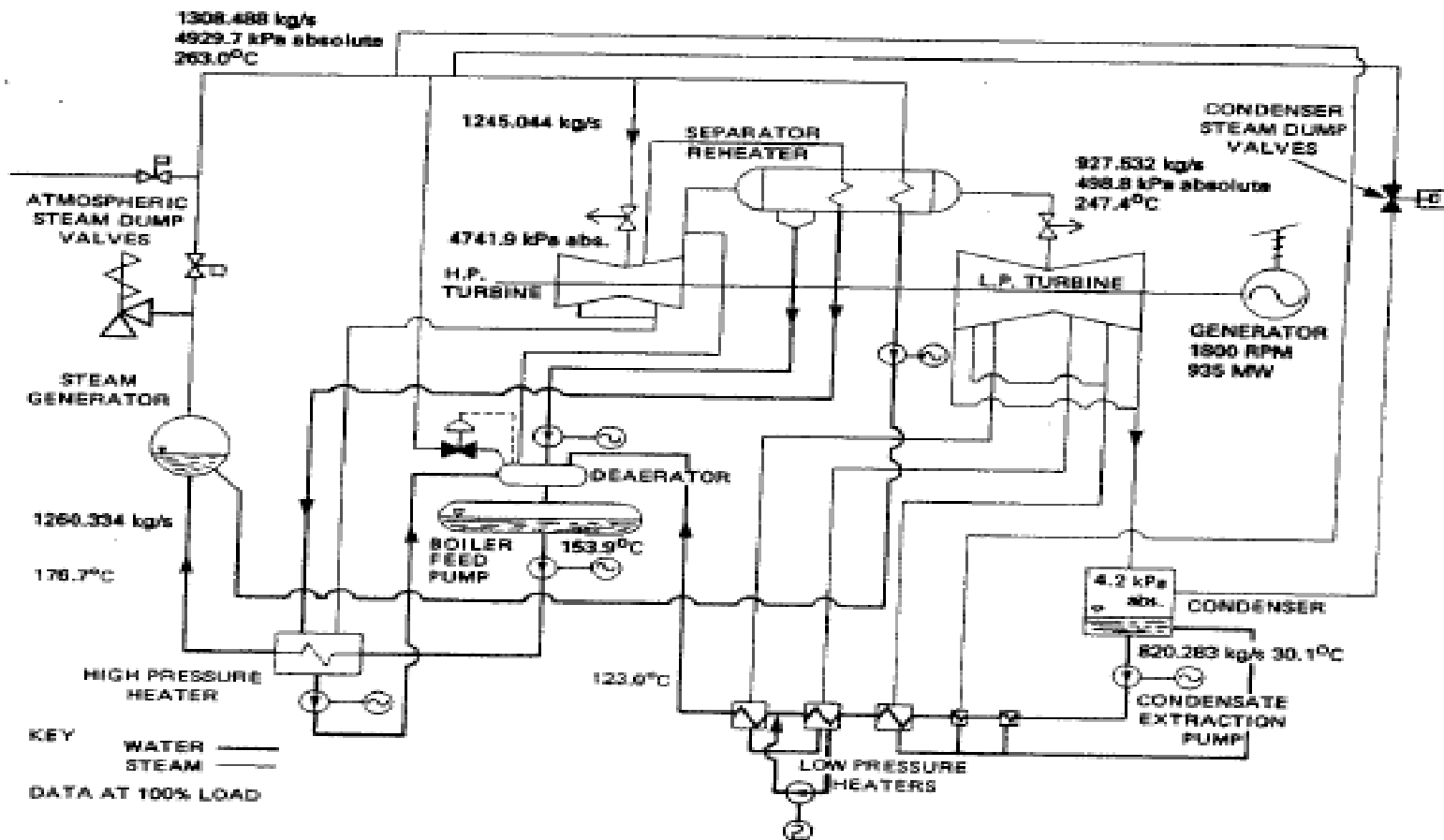


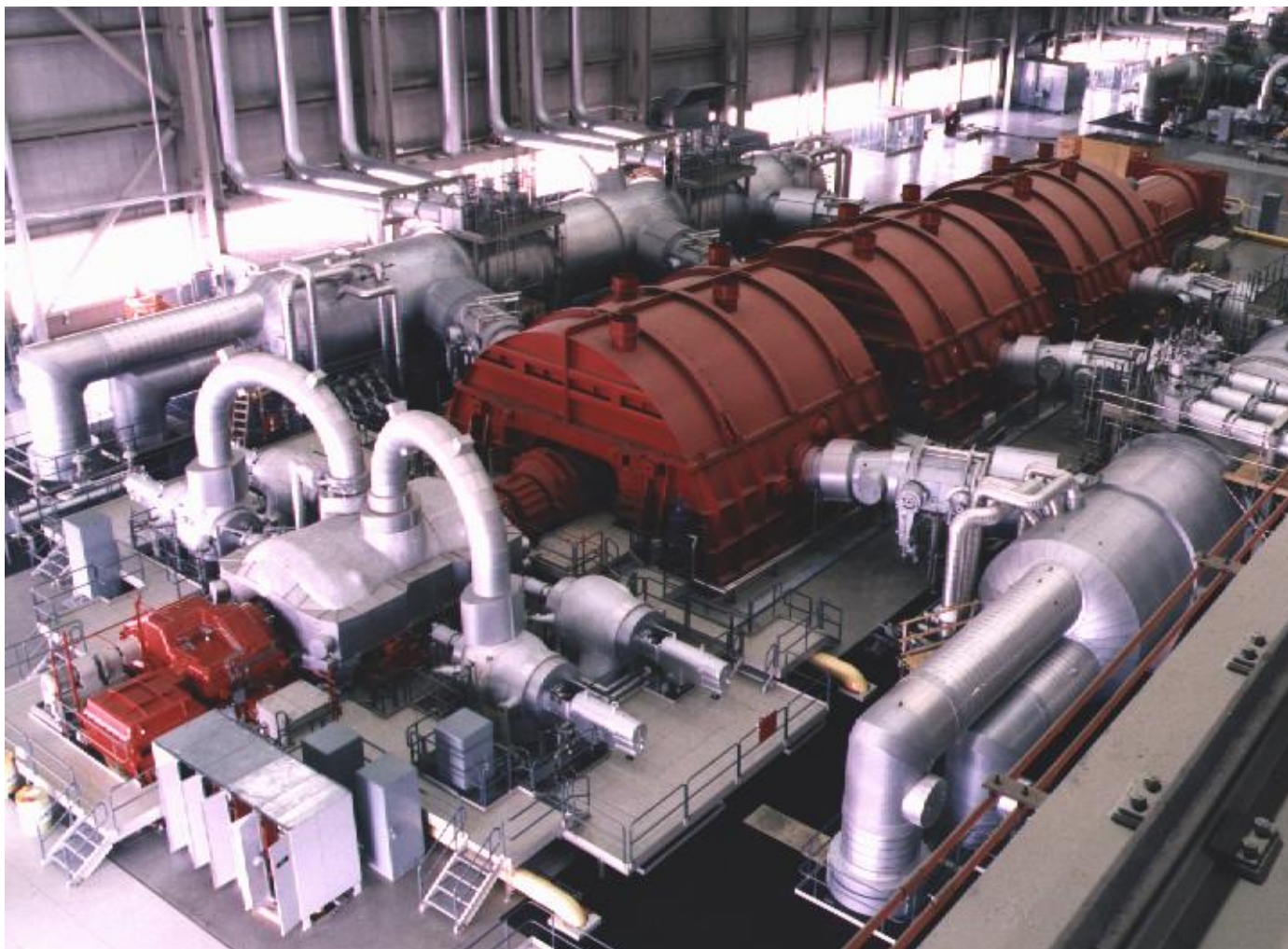
FIGURE 2.10-1
Secondary Cycle

40000 0001:4

Panoramyczne zdjęcie maszynowni
(Turbine Hall) od strony strefy potrzeb międzyblokowych
(Common Services Area) – na prawo żółty Blok 2,
na lewo zielony Blok 3



Turbina Bloku 1, BBC, 1800 RPM, część wysokoprężna i trzy części niskoprężne (dwuprzepływowe); po obu stronach kadłuba separatory wilgoci/podgrzewacze.



Blok 2, koniec turbiny i generator;
w prawym górnym rogu zapasowy wirnik generatora.



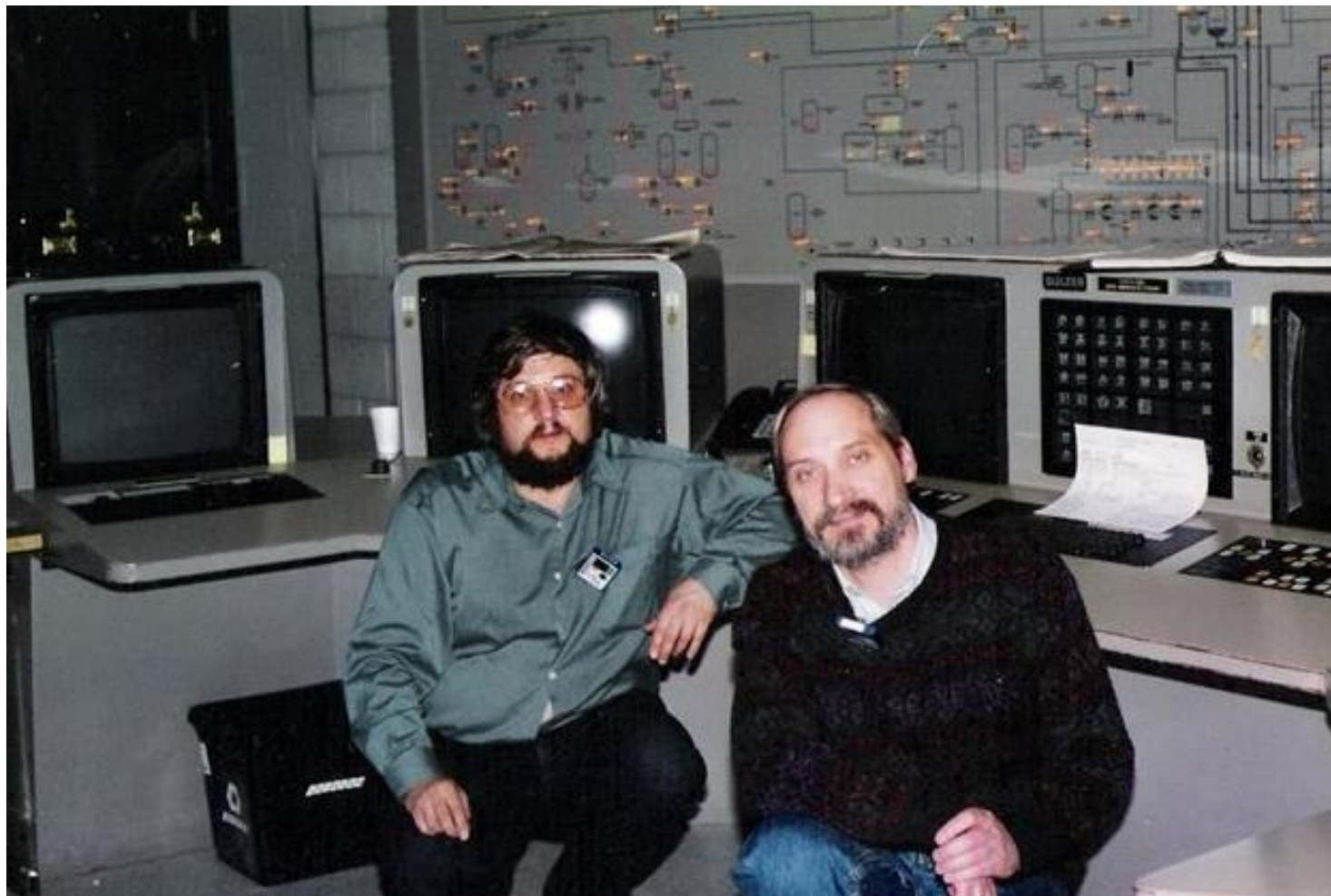
1994 Antoni Macierewicz przed generatorem Bloku 2 (BBC, 1800 RPM, 935 MW)



1996, Elektrownia, 4 x 935 MW(e) strona południowa pomiędzy budynkiem głównym (Power House) i Wieżą Lokalizacji Awarii (Vacuum Building) oraz Budynkiem Gospodarki Ciężko-wodnej i Instalacji Usuwania Trytu (Heavy Water Management & TRF Building); ten ostatni – po lewej- z czarnym kominem (Stack).



TRF 1994: Antoni Macierewicz i D. K. w nastawni Instalacji Usuwania Trytu



TRF – przykład ilościowy usuwania trytu z zatryczonej D₂O (tj. Z HTO)

–przecinek oznacza odzielenie rzędu tysięcy (jak kropka w Europie)

As of Oct 5th, 2007 (08:00)

Estimated Curies in TRF Processes as of Aug 28th/2007 Start-Up –

250,000 Curies

Curies removed from feed since start-up (AUG 28th/2007)

➤ **- 1,341,113 Curies**

➤ **Curies Immobilized since start-up - 945,678 Curies**

> **Total Curies in TRF processes - 395,435 Curies Plus
250,000 Curies as of Start-Up = 645,435 Curies Potential
Error - 78,000 Curies (Lab Sample Analysis)**

2001: Information Centre



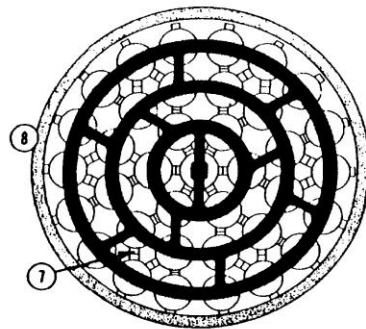
**Red. Jerzy Wojciewski (gość z Polski) trzyma pustą skorupę wiązki paliwowej
(napęczniona paliwem wiązka ważyłaby około 20 kG)**



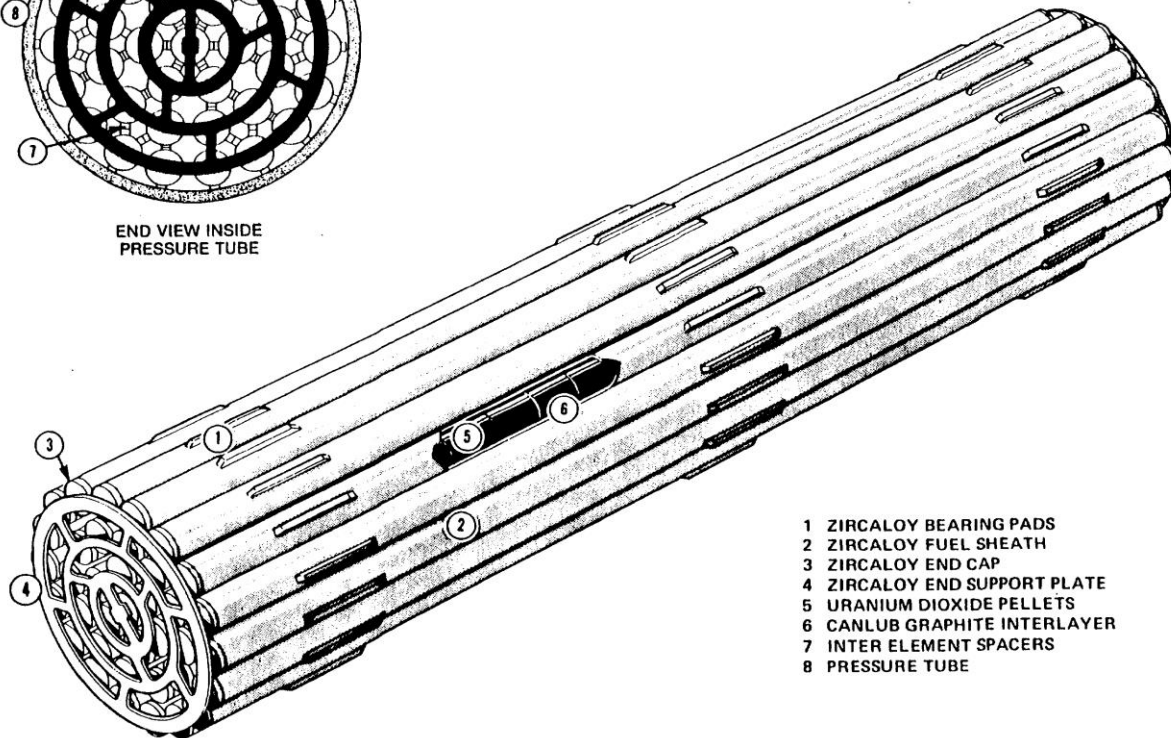
**Dr Barbara Sawicka z modelem wiązki paliwowej CANDU przed kalibrowaniem
aparatury tomograficznej
AECL -CRNL**



37-elementowa wiązka paliwa elektrowni Darlington 4 x 935 MW(e)



END VIEW INSIDE
PRESSURE TUBE



- 1 ZIRCALOY BEARING PADS
- 2 ZIRCALOY FUEL SHEATH
- 3 ZIRCALOY END CAP
- 4 ZIRCALOY END SUPPORT PLATE
- 5 URANIUM DIOXIDE PELLETS
- 6 CANLUB GRAPHITE INTERLAYER
- 7 INTER ELEMENT SPACERS
- 8 PRESSURE TUBE

1996, Elektrownia, 4 x 935 MW(e) , Nastawnia Blokowa Bloku 1 [Unit 1 Desk and Console, Main Control Room (MCR)]; zielone ekrany z prawej strony należą do komputerów awaryjnego odstawiania reaktora (Shutdown System Computers)



Symulator Nastawni Bloku 2 Elektrowni, 4 x 935 MW(e) w Centrum Szkoleniowym



Symulator Nastawni Bloku Zero Elektrowni, 4 x 935 MW(e) w Centrum Szkoleniowym



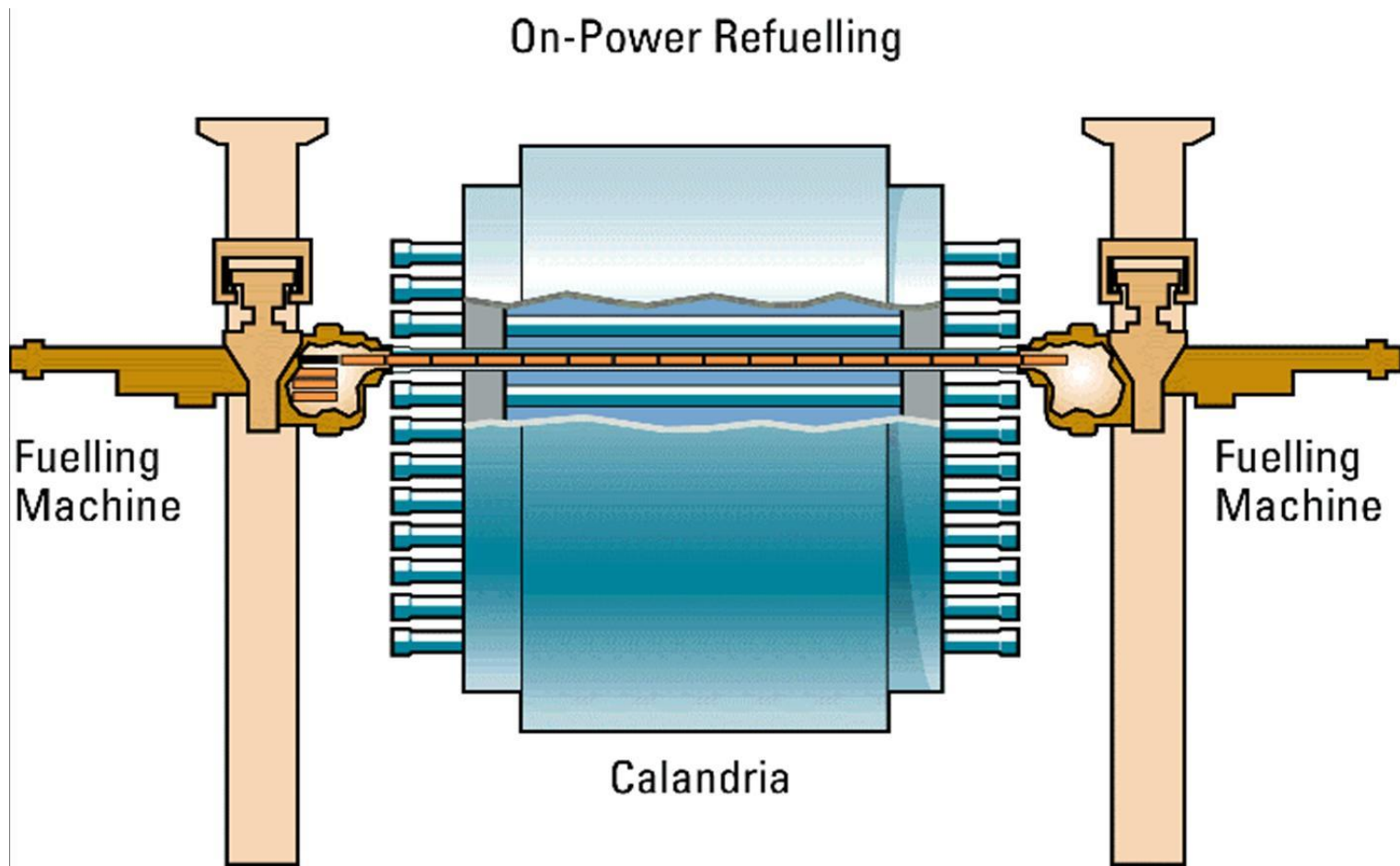
Ćwiczenia prowadzenia bloku na Symulatorze w Centrum Szkoleniowym



Centrum Szkoleniowe



Wymiana paliwa z zachowaniem ruchu reaktora CANDU (On-Power Refuelling)



System wymiany paliwa (Fuel Handling System), wózek (trolley) jedzie po torach z głowicą (F/M Head) załadowana paliwem, przed reaktorem most (bridge) pobiera głowicę i podnosi ją do odpowiedniego kanału.

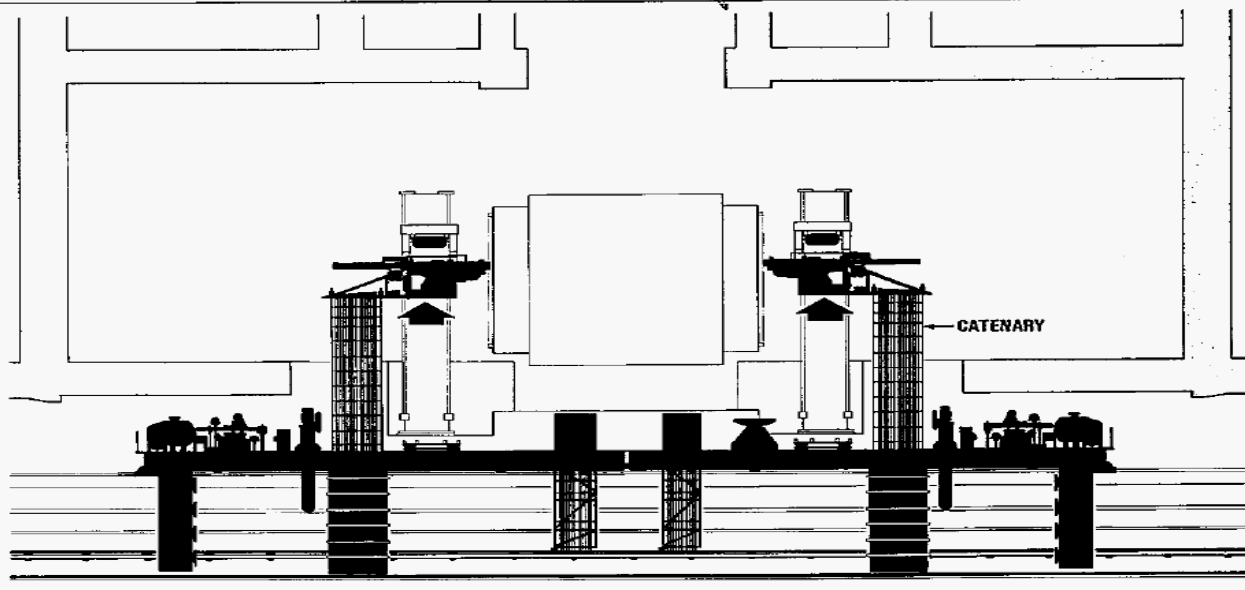


Canadian
General Electric

RESOURCES AND POWER GENERATION OPERATIONS
NUCLEAR PRODUCTS

TECHNICAL DOCUMENT

CAP. 6681 MAY 85	PROJECT TITLE DARLINGTON GS A				PROJ. 38-	SCI. 35000-	SECTION SERIAL 23-600-014-R00	PAGE REV	
	TITLE FUEL HANDLING SYSTEM - GENERAL - ILLUSTRATION				RET	WP L01	CLASS	CONT ON 015	DISTRIBUTION 38-02
	PREPARED BY C. CROSS	YY MM DD 880928	UNIT X77	APPROVED BY J.R. WILLIAMSON	YY MM DD 880928	VERIFIED BY		YY MM DD	

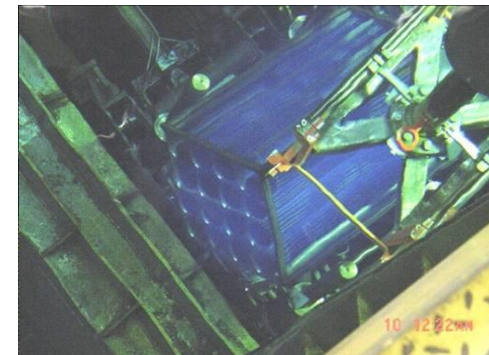


C. Cross

1996, Elektrownia DNGS-A, 4 x 935 MW(e) : Konsola obsługi jednego z dwóch systemów wymiany paliwa (Fuel Handling Desk) w Nastawni Głównej (Main Control Room)



**Co się dzieje z wypalonym paliwem?
Maszyny Paliwowe (F/M's) wrzucają wiązki paliwowe do Basenu
Paliwa Radioaktywnego (Irradiated Fuel Bay)
Z prawej: emitowana przez wiązki poświata Czerenkowa
(Cherenkov radiation)**



**Po kilkunastu latach pobytu w basenie, schłodzone wiązki można już
składować w stanie suchym. Z prawej, uroczyste otwarcie
takiego składu w el. 4 x 935 MW(e) , jesień 2007>>>**



Wiele zdjęć w tej prezentacji pochodzi z prywatnej kolekcji jej autora. Obecnie robienie zdjęć w elektrowni jest bardzo utrudnione. Nie ma wycieczek, obiekt jest silnie strzeżony. Do elektrowni przechodzimy przez wykrywacze metalu, wszystkie przedmioty idą przez Roentgen, jak na lotnisku. Elektrownię ogrodzono potrójnym płotem i są patrole policji z automatami. Jest to rezultat 9-11 → Canadian Nuclear Plants Safe & Secure



Elektrownie typu CANDU (PHWR) pracują w następujących państwach: Argentyna, Chiny, Korea Płd., Indie, Pakistan, Rumunia, i oczywiście Kanada.

Wymiana doświadczeń technicznych wszystkich użytkowników technologii CANDU odbywa się poprzez organizację COG

COG (CANDU Owners' Group).

Członkowie COG:

[Bruce Power](#)

[Hydro-Québec](#)

[New Brunswick Power](#)

[Ontario Power Generation](#)

[NASA \(Argentyna\)](#)

[TQNPC \(Chiny\)](#)

[NPCIL \(Indie\)](#)

[KHNP \(Korea Płd.\)](#)

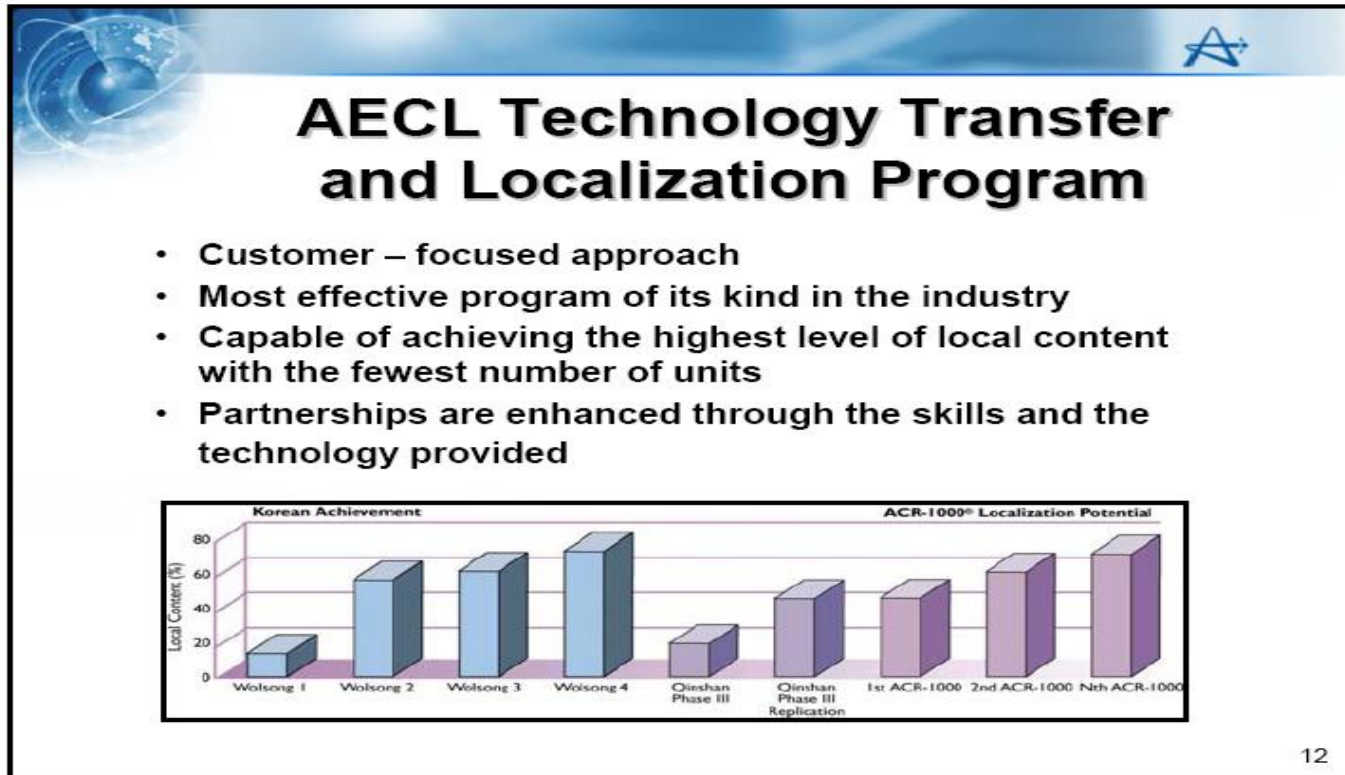
[PAEC \(Pakistan\)](#)

[SNN \(Rumunia\)](#)


[AECL](#)



Lokalizacja dostaw i transfer technologii CANDU do krajów docelowych—z bloku na blok coraz więcej urządzeń i usług dostarczały rynki lokalne – nowe miejsca pracy w Korei Płd. i w Chinach




W 2007 Cernavoda-2 w Rumunii została uruchomiona na czas i w ramach kosztorysu i w 2008 roku zanotowała doskonałe wyniki eksploatacyjne (wsp. Wyk. Mocy. Zainst. >97%)



Unparalleled Delivery Capability

In-Service	Plant	Status
1996	Cernavoda Unit 1, Romania	On budget, on schedule*
1997	Wolsong Unit 2, S. Korea	On budget, on schedule
1998	Wolsong Unit 3 S. Korea	On budget, on schedule
1999	Wolsong Unit 4, S. Korea	On budget, on schedule
2002	Qinshan Phase III, Unit 1, China	Below budget, 6 weeks ahead of schedule
2003	Qinshan Phase III, Unit 2, China	Below budget, 4 months ahead of schedule
2007	Cernavoda Unit 2, Romania	Under construction, on target

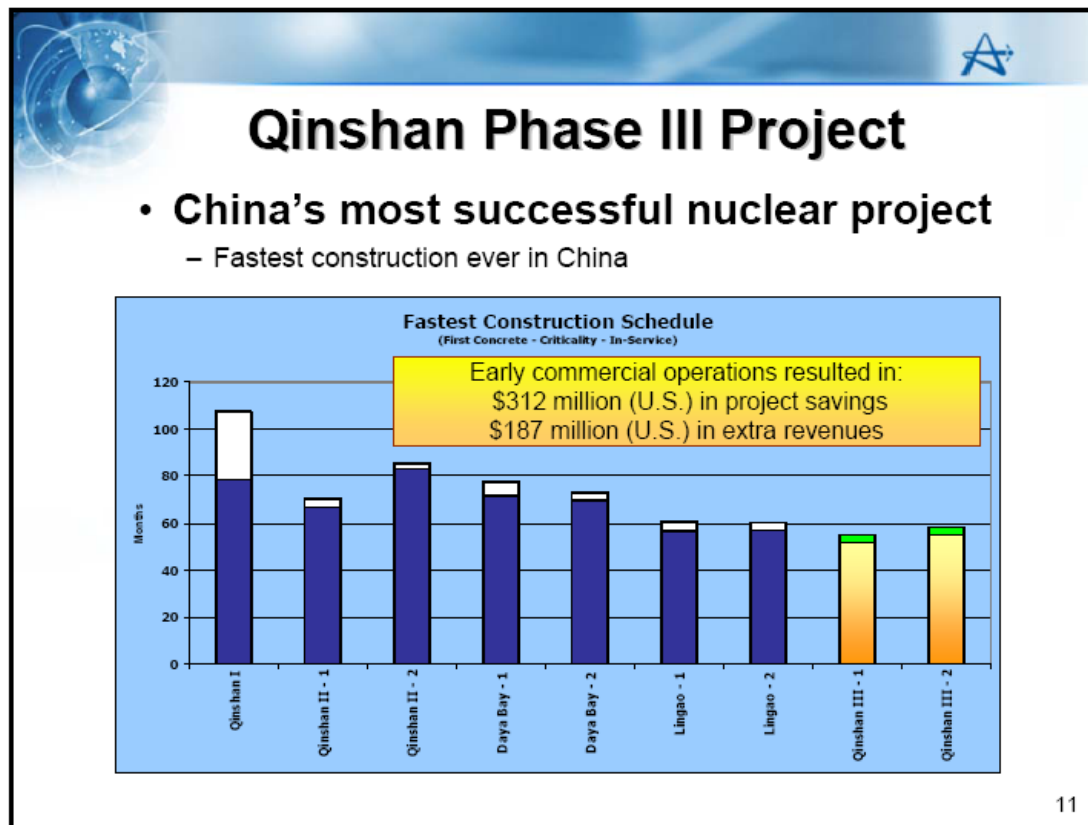


Qinshan Construction

10

Qinshan III wcześniejsze uruchomienie –
zysk około pół miliarda dolarów dla klienta

- Wyniki budowy elektrowni CANDU-6 w Chinach:



11

Nowe rozwiązania: ulepszoną wersję CANDU-6 – 740 MW, i ACR-1000, przedstawił na seminarium w styczniu 2007 Dr Stefan Doerffer (AECL).

EC-6 jest to klasyczny reaktor CANDU na paliwo naturalne, chłodzony i moderowany ciężką wodą.



Enhanced CANDU 6 – EC6 Overview



Dr. Stefan S. Doerffer, P.Eng.

Atomic Energy of Canada Limited

Seminar on CANDU TECHNOLOGY

Warsaw, Poland

January 23rd, 2007



Lista ulepszeń proponowanych w EC-6



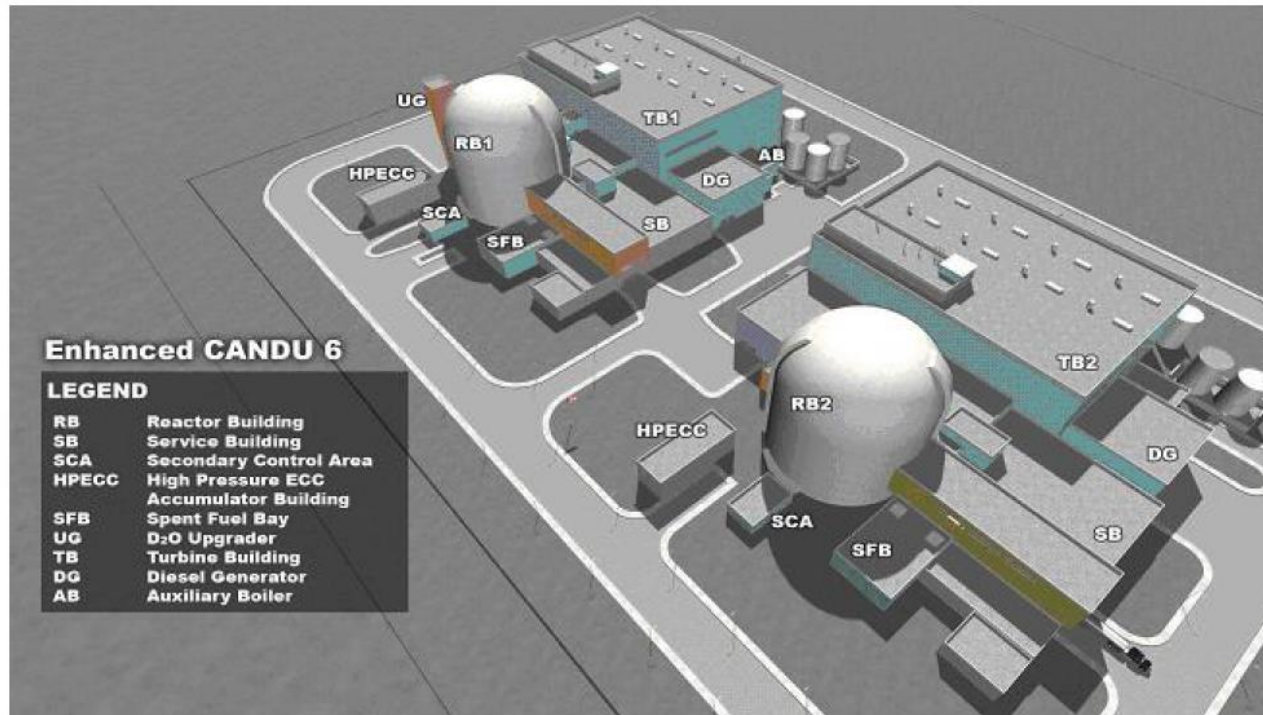
EC6 Project Goals & Targets

- Retain the proven concepts of CANDU 6
- Product: Standard CANDU 6 NPP (based on Qinshan)
- Power increased to 740 MWe (gross)
- Plant life: 50+ years with one mid-life refurbishment
- Annual capacity factor over 90% - outages every 2 years and shorter in duration
- Additional passive heat sinks
- Meet IAEA standards

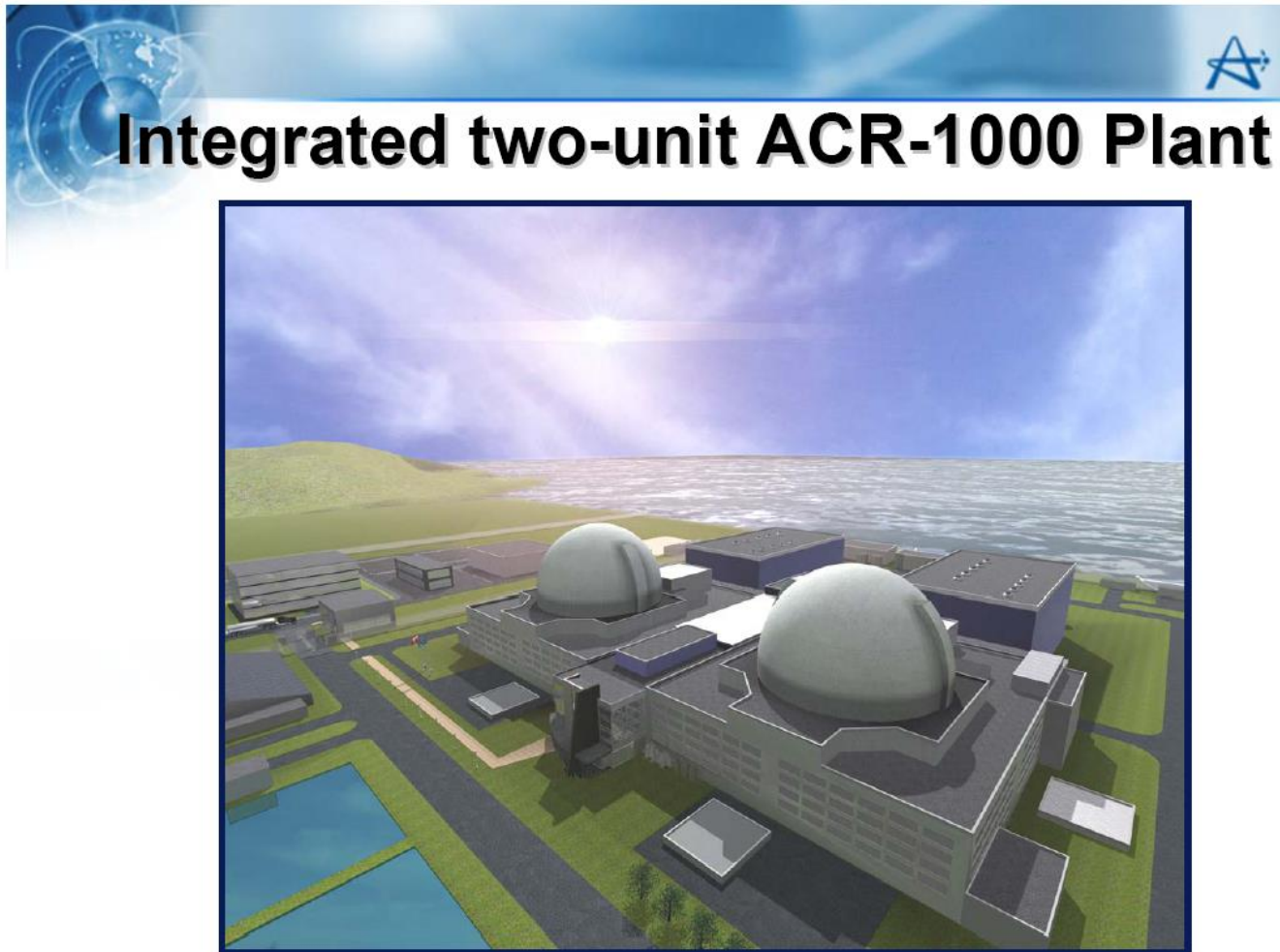
Ze względów eksploatacyjnych (elastyczne używanie personelu) najbardziej celowe jest budowanie dwóch bloków CANDU obok siebie



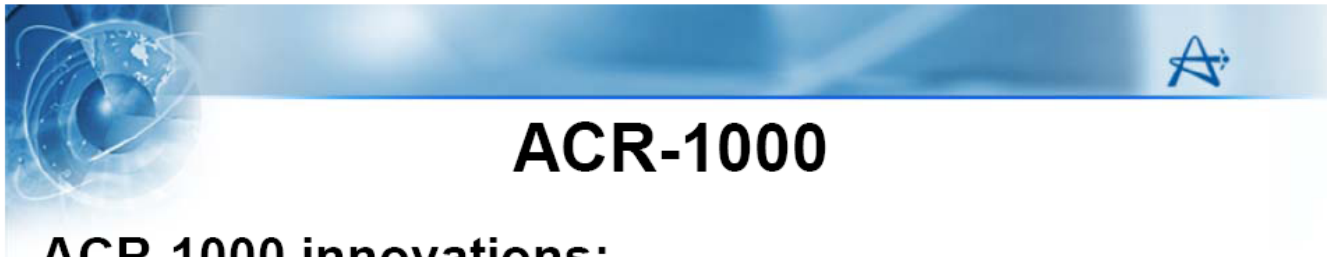
Enhanced CANDU 6 Plant Layout



ACR-1000 (Advanced CANDU Reactor) jeszcze nie został wybudowany, ale będzie używał Canflex Fuel – z zastosowaniem pigułek lekko wzbogaconego paliwa (mniej U-235 niż do PWR)



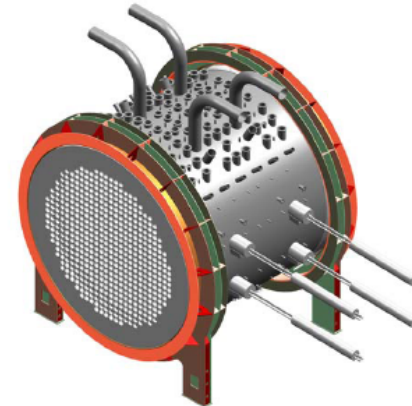
ACR ma być tańszy inwestycyjnie, prostszy w obsłudze i ma posiadać dłuższy okres eksploatacji. Zalety CANDU, takie jak wymiana paliwa w ruchu – czyli wysoki współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej, pozostaną zachowane.

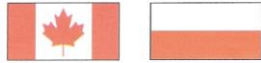


ACR-1000

ACR-1000 innovations:

- Low enriched fuel, light water coolant, reduced D₂O inventory
- Higher steam pressure for increased efficiency
- Smaller reactor core with improved stability enables higher output
- Design optimized for high capacity factor operability and maintainability over 60 year life
- Larger thermal margins - designed for end-of-life conditions





Co ma do zaoferowania system CANDU?



- Terminowa budowa i przeszkolenie personelu wg kosztorysu (przykłady Korea, Chiny, Rumunia).
Uwaga: Cernavoda w 2008 zanotowała doskonałe wyniki (wsp. wyk. mocy >97%)
- Transfer technologii i know-how do Polski, której silna kadra informatyczna potrafi doskonale przyswoić silnie skomputeryzowany system CANDU.
- Samowystarczalność paliwowa i energetyczna; zaspokojenie wzrostu zapotrzebowania na energię bez emisji dwutlenku węgla.
- Możliwość dobrej umowy z Kanadą. W okresie gdy spadł popyt na towary w USA w wyniku kryzysu i recesji pożądane są nowe rynki, a polska waluta stoi bardzo wysoko. To dobry czas na inwestycje strategiczne państwa (polskiego i kanadyjskiego).
- Sprawdzona od 45 lat technologia. Nie ma technologii idealnych, ale ta jest bezpieczna, przewidywalna i wiadomo na co zwrócić uwagę. Doskonały trening kadr w Kanadzie i w Polsce z pomocą kanadyjską. Wielu Polaków w Kanadzie pracuje w przemyśle atomowym. Mogliby oni pomóc w sprawnym wdrożeniu energetyki jądrowej w Polsce.
- Po przyswojeniu technologii CANDU istnieje szansa na eksport polskiej myśli technicznej na cały świat, na wschód i na zachód, także do Kanady.
- Czy wечно wybierać, czy umożliwić elektrowniom-firmom energetycznych podjęcie decyzji i wejść do „Klubu Atomowego” za 6-7 lat? Decyzja należy do Polaków nad Wisłą, Odrą i Bałtykiem...
- Więcej? <http://www.nuclearfaq.ca/index.html#toc>

**Wyjątki z „Raportu Końcowego” z X Konferencji Gospodarczej Polonii 2004
[opublikowanego w kwietniu 2005 na łamach „Nowego Kuriera” w Toronto]**

- a) Wysoki kurs polskiej waluty umożliwia import nowoczesnych technologii. Elektrownie systemu kanadyjskiego pracują w wielu krajach świata, w Korei Południowej, w Chinach, także w Rumunii. Elektrownie jądrowe funkcjonują najlepiej w tych jurysdykcjach, gdzie mandat energetyki jest klarowny, a nie podporządkowany doraźnym celom politycznym.
- b) Polska mogłaby znacznie ograniczyć import ropy naftowej i gazu ziemnego wykorzystując do produkcji paliw płynnych posiadane pokłady węgla kamiennego. Polska powinna podjąć wysiłki nad racjonalnym wykorzystaniem swojej bazy paliwowo-energetycznej w sposób ekologicznie dopuszczalny.
- c) Potrzebne jest jak najszybsze wdrożenie energetyki jądrowej w celu uzyskania taniego źródła energii o zerowej emisji dwutlenku węgla. Przy odpowiednim procencie energii otrzymywanym z elektrowni jądrowych, które pracują w reżimie podstawowym, uzyskuje się dużo niezmiernie taniej energii w czasie dolin nocnych. Energię tę można wykorzystać do przyjaznej ekologicznie produkcji paliw dla sektora motoryzacyjnego. Za pomocą elektrolizy można otrzymywać wodór do samochodów nowej generacji, co praktykuje już Islandia. Mając dostęp do taniej energii można także przetwarzać węgiel na paliwa syntetyczne dla używanych obecnie silników spalinowych.
- d) Potrzebne są intensywne badania w dziedzinie inżynierii chemicznej nad znalezieniem bardziej wydajnych metod otrzymywania benzyny syntetycznej z węgla. Synteza Fischera i Tropscha, stosowana m.in. przez Niemców w czasie II Wojny Światowej, produkuje benzynę niskiej jakości i sama jest energochłonna. Tę ostatnią wadę może złagodzić energetyka jądrowa.
- e) W dziedzinie energetyki warto byłoby rozważyć partnerstwo rządów Polski i Kanady, na przykład poprzez Agencję AECL (Atomic Energy of Canada Ltd.). Rząd Polski powinien rozważyć wykorzystanie rezerw dewizowych na inwestycje o znaczeniu strategicznym. Rząd Kanady może być takim partnerstwem zainteresowany jako mechanizmem promocji swojej technologii jądrowej i późniejszego udziału w dochodach energetyki zawodowej w Polsce.
- f) Istnieje potężny kapitał wiedzy i umiejętności w dziedzinie energetyki jądrowej wśród Kanadyjczyków narodowości polskiej rekrutujących się z tzw. „Fali emigracji solidarnościowej”. Kapitał ten mógłby być bezcennym atutem w sprawnym wdrożeniu technologii CANDU w Polsce.