



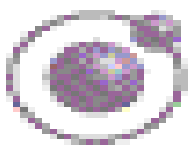
Rola chemii radiacyjnej i radiochemii w rozwoju bezpiecznej energetyki jądrowej

Andrzej G. Chmielewski
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej



Collaborating Centre

Jubileuszowa Sesja Naukowa Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych
im. Marii Skłodowskiej-Curie
„Promieniowanie w nauce, technologii, medycynie i środowisku naturalnym”
29 czerwca 2017
Pałac Staszica, Warszawa



Maria Skłodowska - Curie

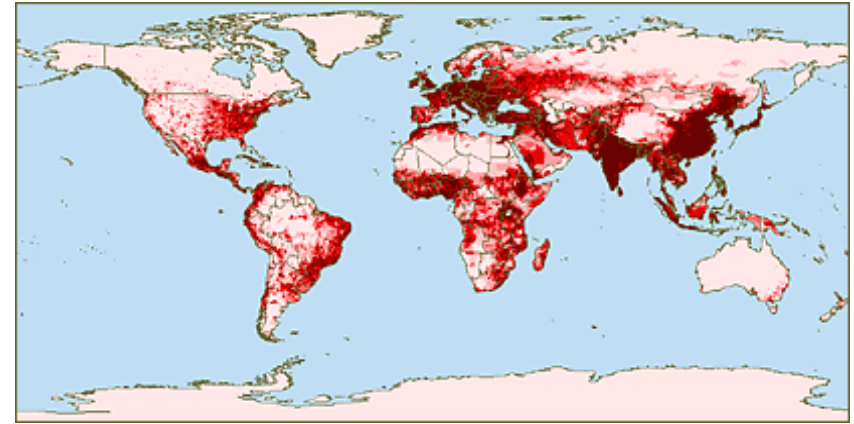
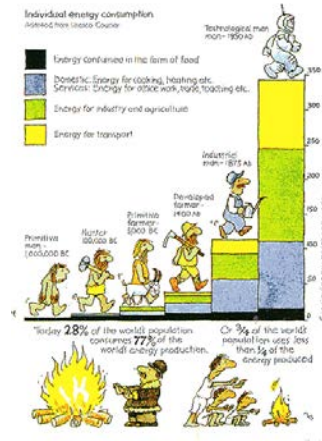
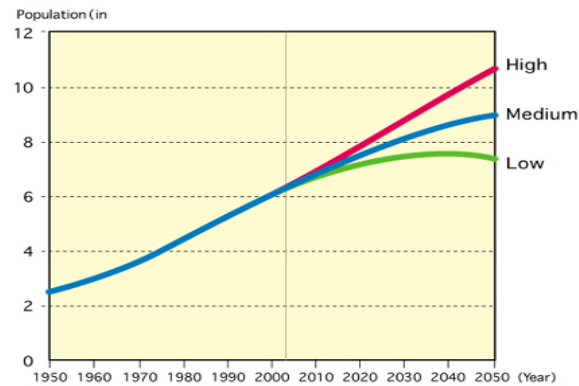
Maria Skłodowska – Curie wykorzystując w swoim laboratorium procedury chemiczne w celu wydzielenia i identyfikacji pierwiastków promieniotwórczych dla określenia ich przekształceń wykorzystywała **radiochemię** następnie badając efekty powodowane przez promieniowanie stworzyła podwaliny **chemii radiacyjnej**.



Muzeum Marii Skłodowskiej – Curie
Noc Muzeów 2017

Wielkie miasta

Figure 1 United Nations World Population Projections, 1950-2050
Source: World Population Prospects



Dlaczego atmosfera jest ważna ?

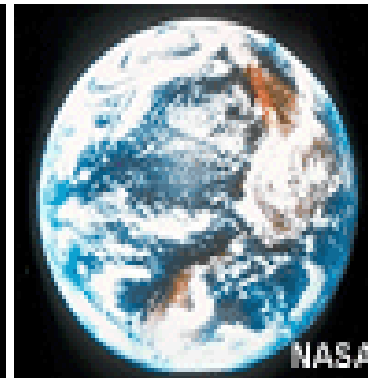
90 X >

0,1 MPa

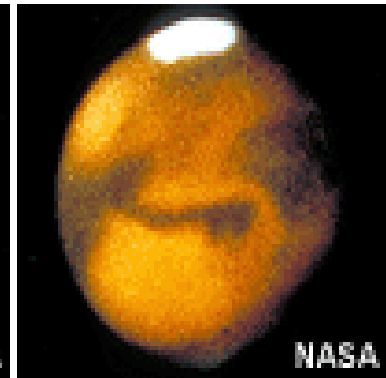
30 -110Pa



NASA



NASA



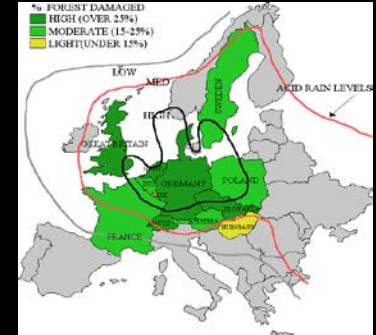
NASA

Venus

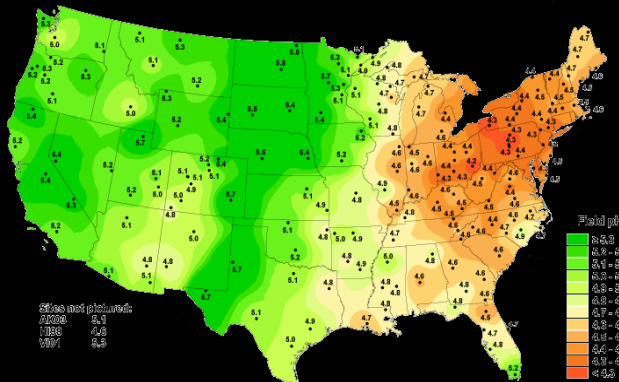
Earth

Mars

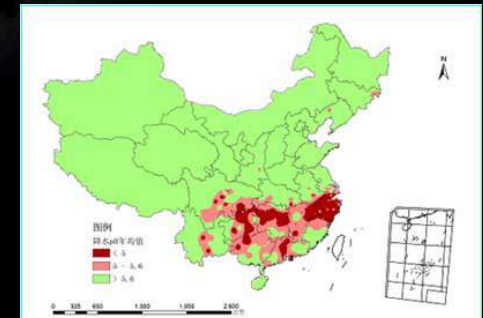
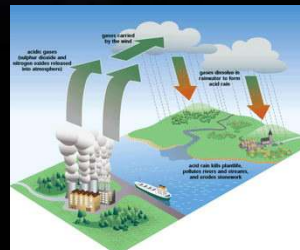
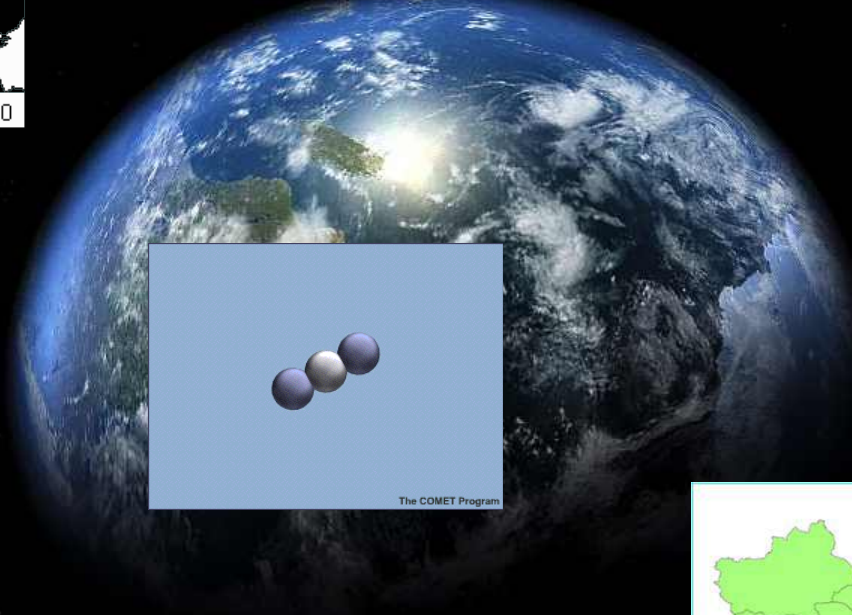
Surface temperature	450°C	13°C	-53°C
---------------------	-------	------	-------



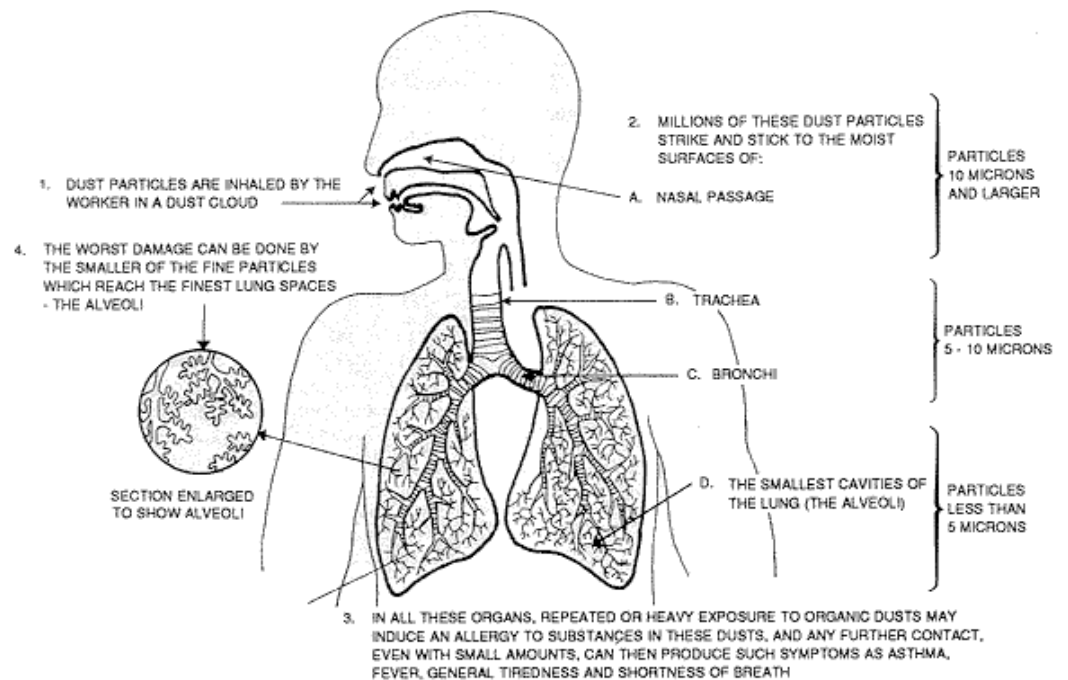
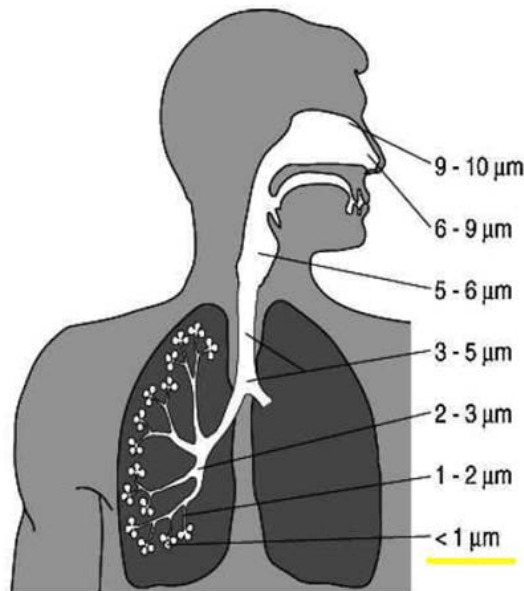
Hydrogen ion concentration as pH from measurements made at the field laboratories, 2001



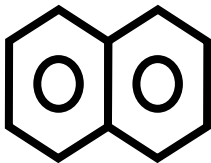
National Atmospheric Deposition Program/National Trends Network
http://nadp.sws.uiuc.edu



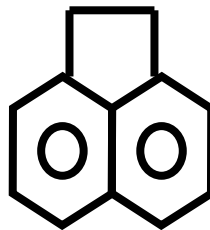
PM_{2.5}: Invisible Killer



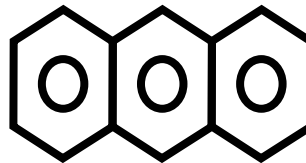
WWA emitowane w procesach spalania paliw kopalnych i biopaliw



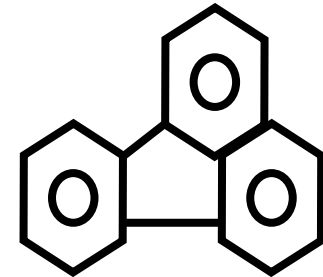
naphthalene



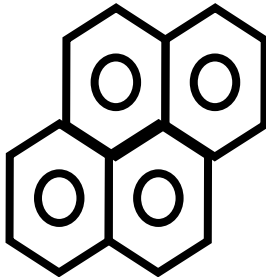
acenaphthene



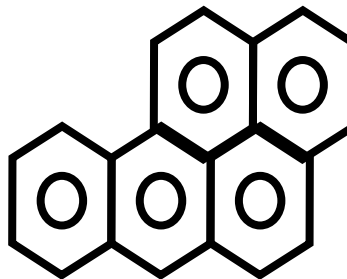
anthracene



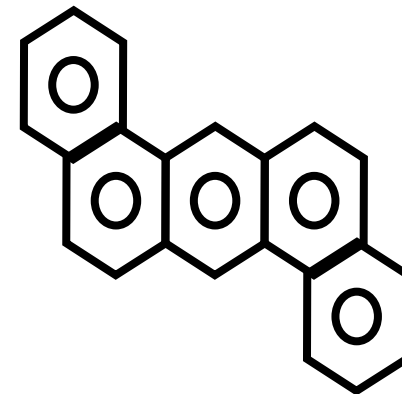
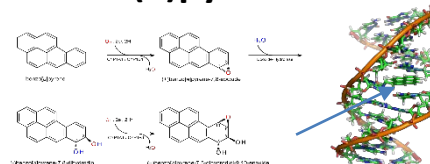
fluoranthene



pyrene



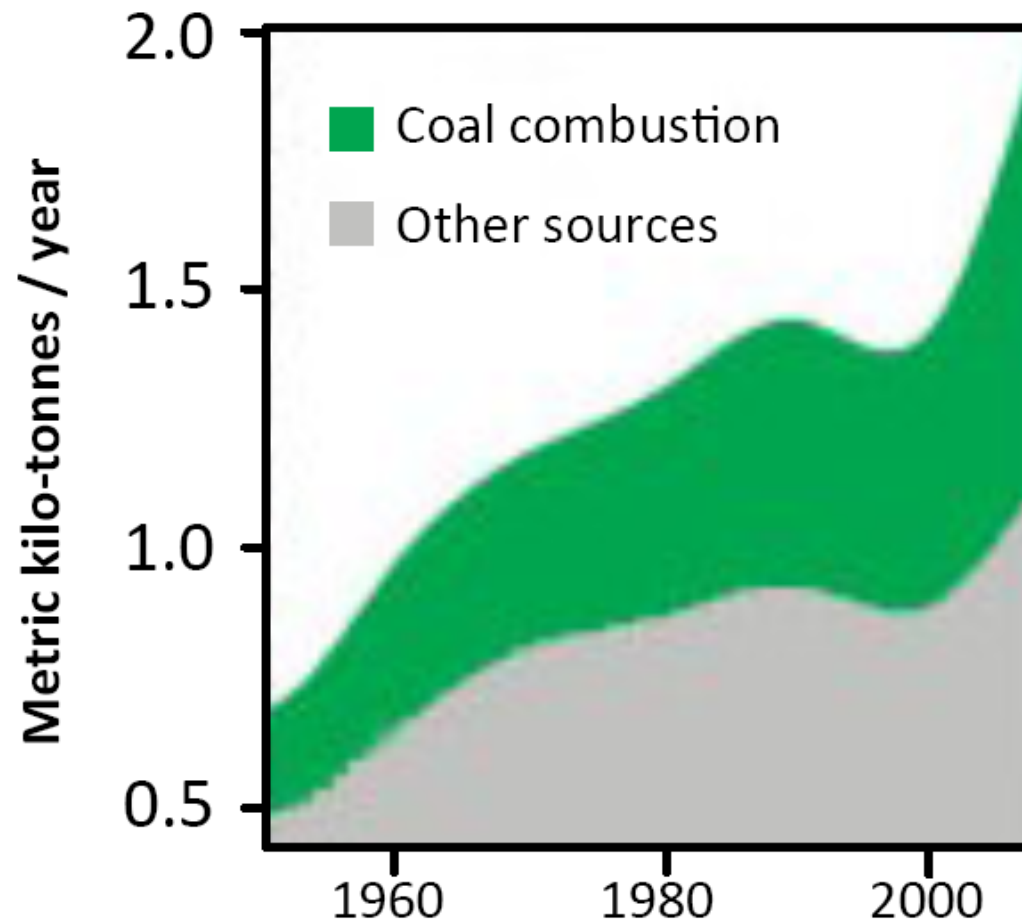
benzo(a)pyrene



dibenzo(a,h)anthracene

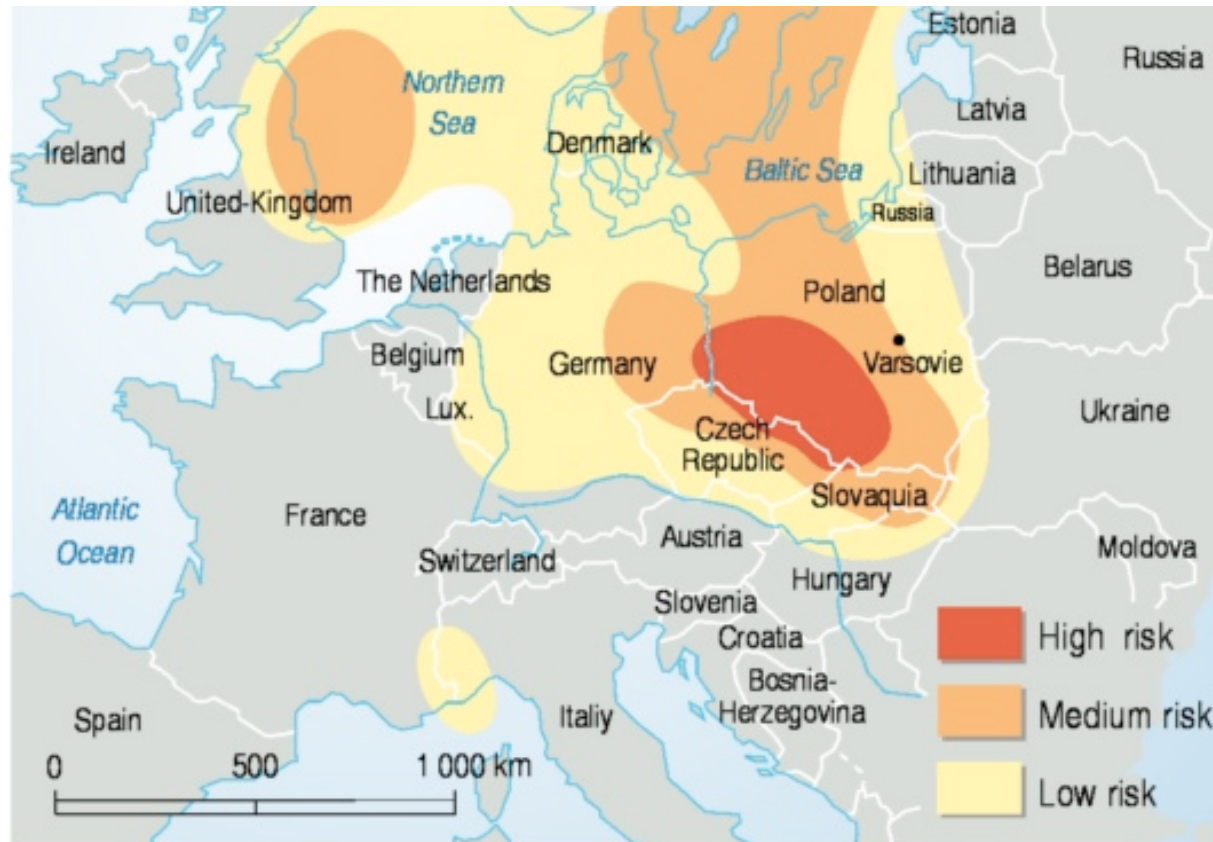
Emisja rtęci

Mercury emissions to the atmosphere



Source : David G. Steeets, 2011

Extreme Coal - Poland's 96% Dependency Could Be World Record

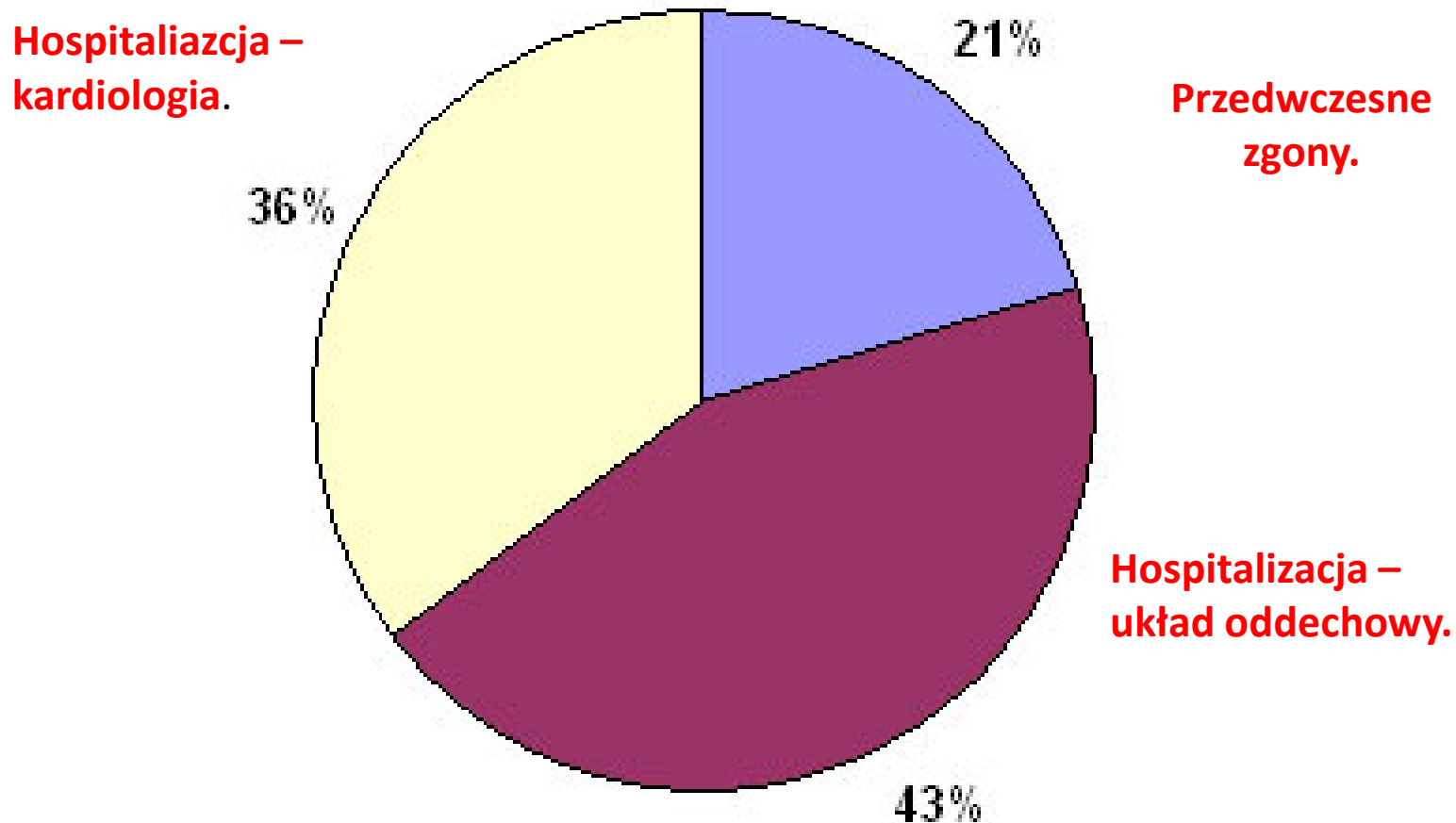


When in Poland don't eat the fish.

Mapa aglomeracji łódzkiej z naniesionym wskaźnikiem kontaminacji (MITR PŁ)

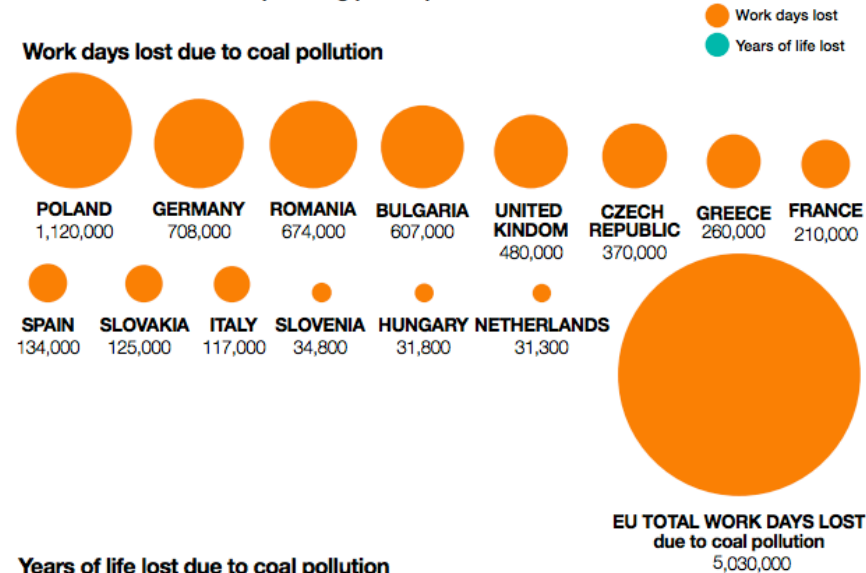


Efekty zdrowotne zanieczyszczenia powietrza

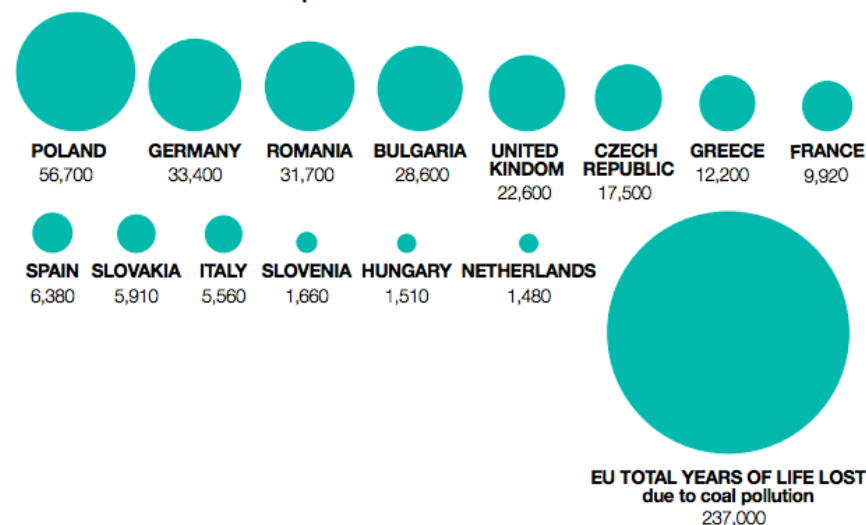


Europe: 22,300 premature deaths are caused by coal pollution ... every year

Countries with the most polluting power plants

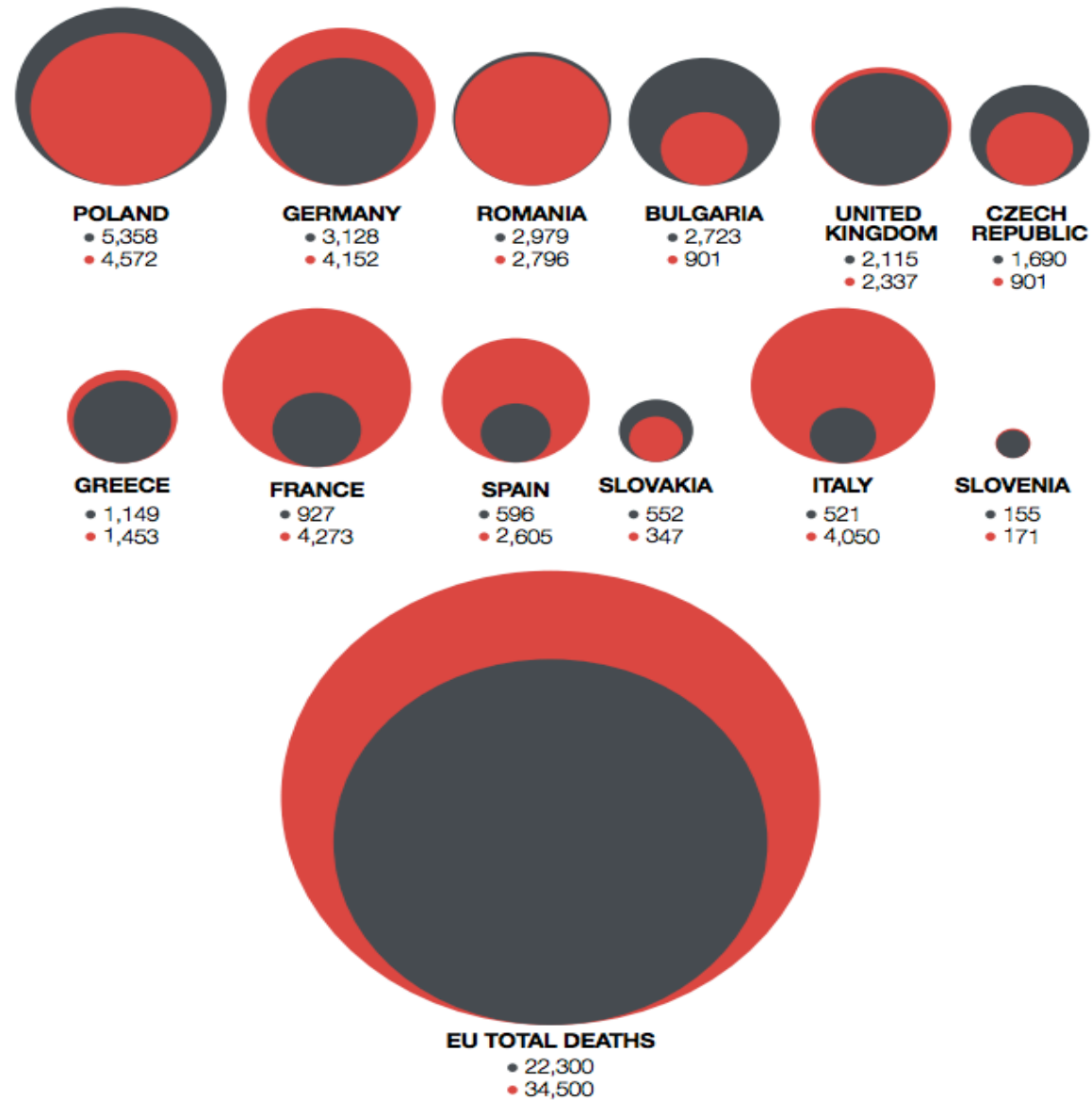


Years of life lost due to coal pollution



Deaths associated with coal pollution vs road traffic accidents

● deaths due to coal pollution
● deaths due to road traffic accidents



Fission



Uran i węgiel.

W jednym akcie rozszczepienia 200 MeV energii, w reakcji chemicznej (np. spalanie węgla) zaledwie kilka eV.

10 000 000 X



3 miliony
ton rocznie



1000 MW_e



150 – 200 000 ton
odpadów stałych, z
gazami 7 milionów
ton

Ca 25 tony
UO₂ rocznie



1000 MW_e



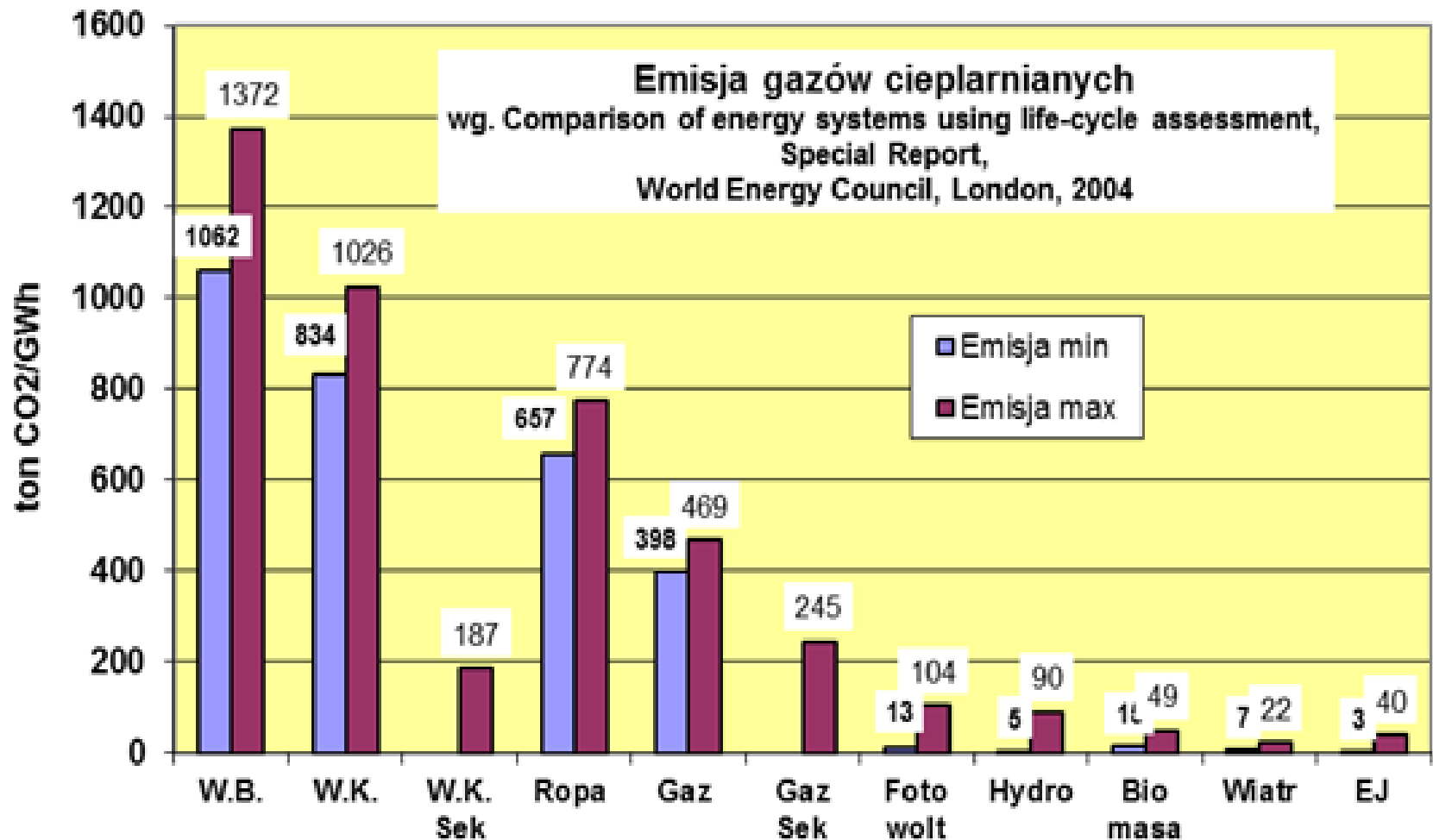
Fission



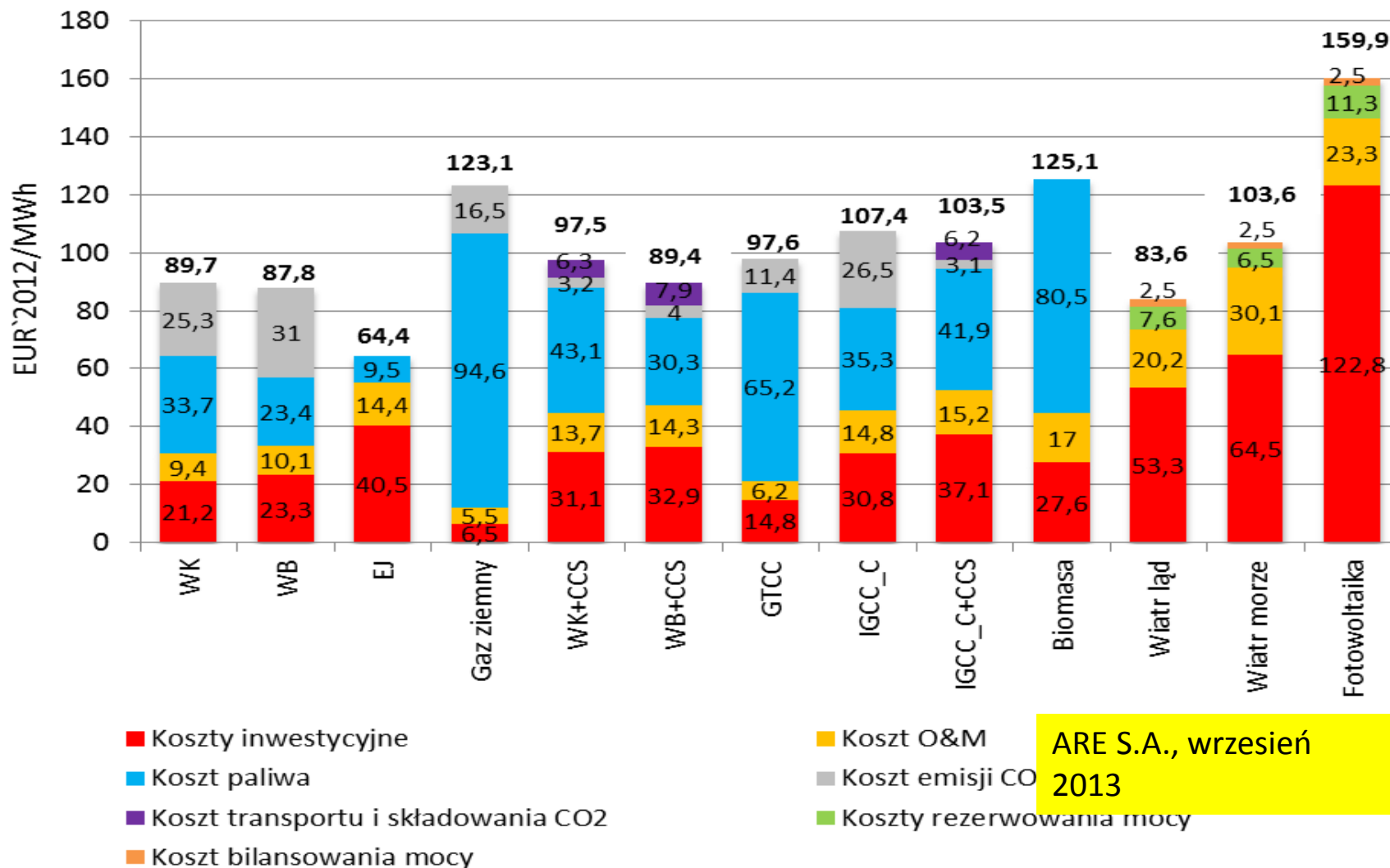
Po przerobie
1 tona odpadów
wysokoaktywnych

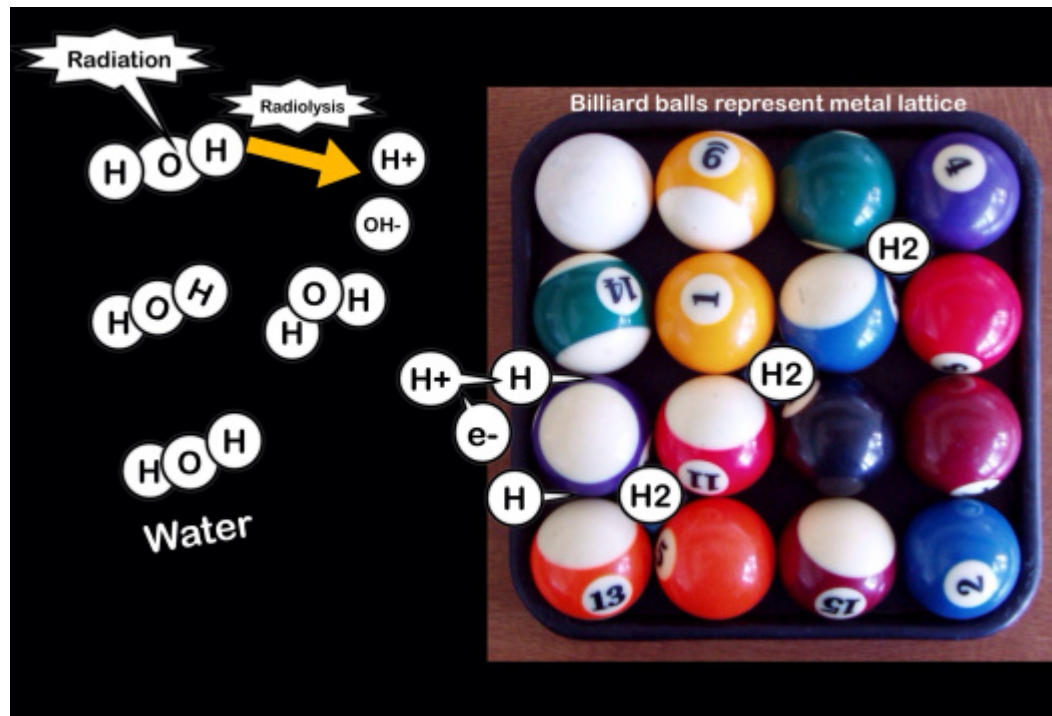


Wg World Energy Council, IPCC, IAEA EJ to najlepsze źródło niskoemisyjne



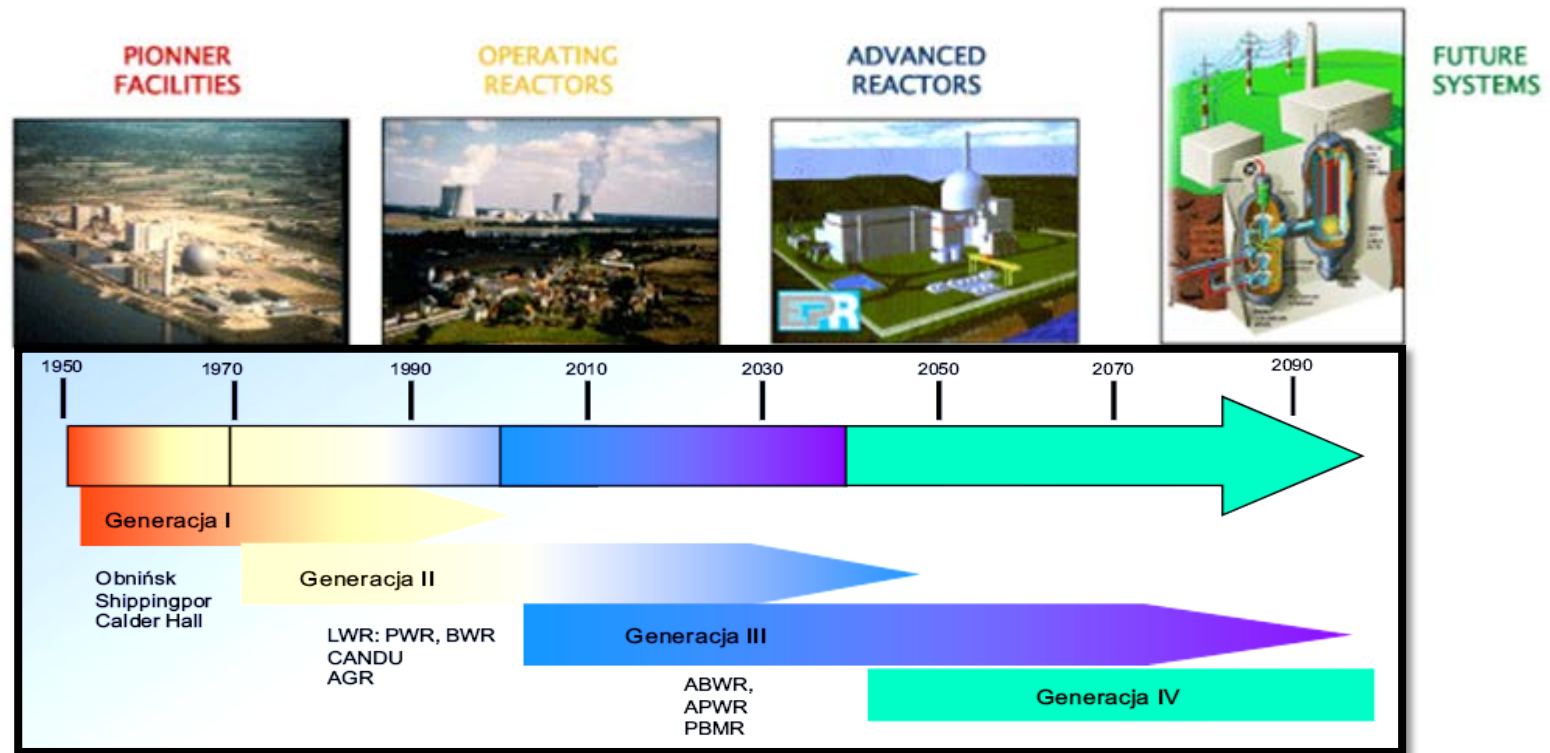
Uśredniony jednostkowy koszt wytwarzania energii elektrycznej w źródłach do uruchomienia w 2025 r.

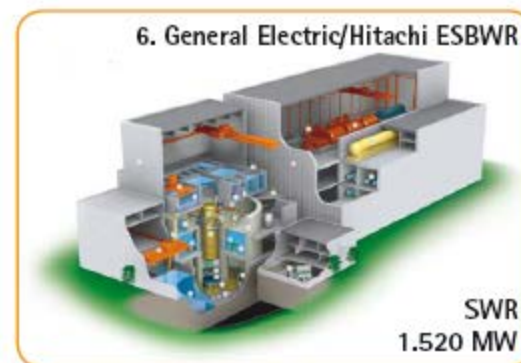
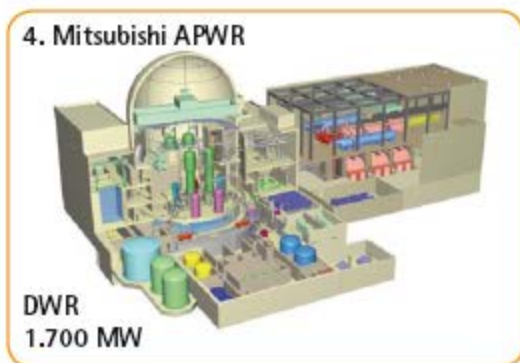
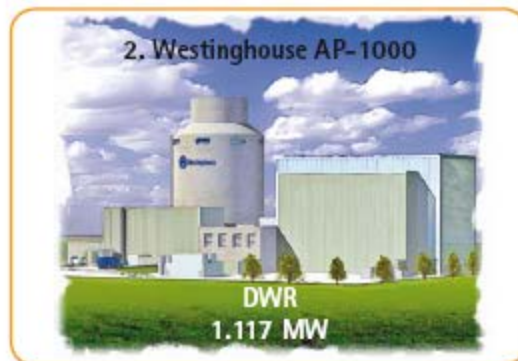
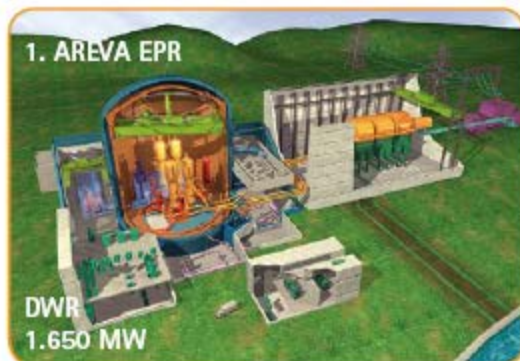




PROBLEMATYKA CHEMICZNA W ENERGETYCE JĄDROWEJ

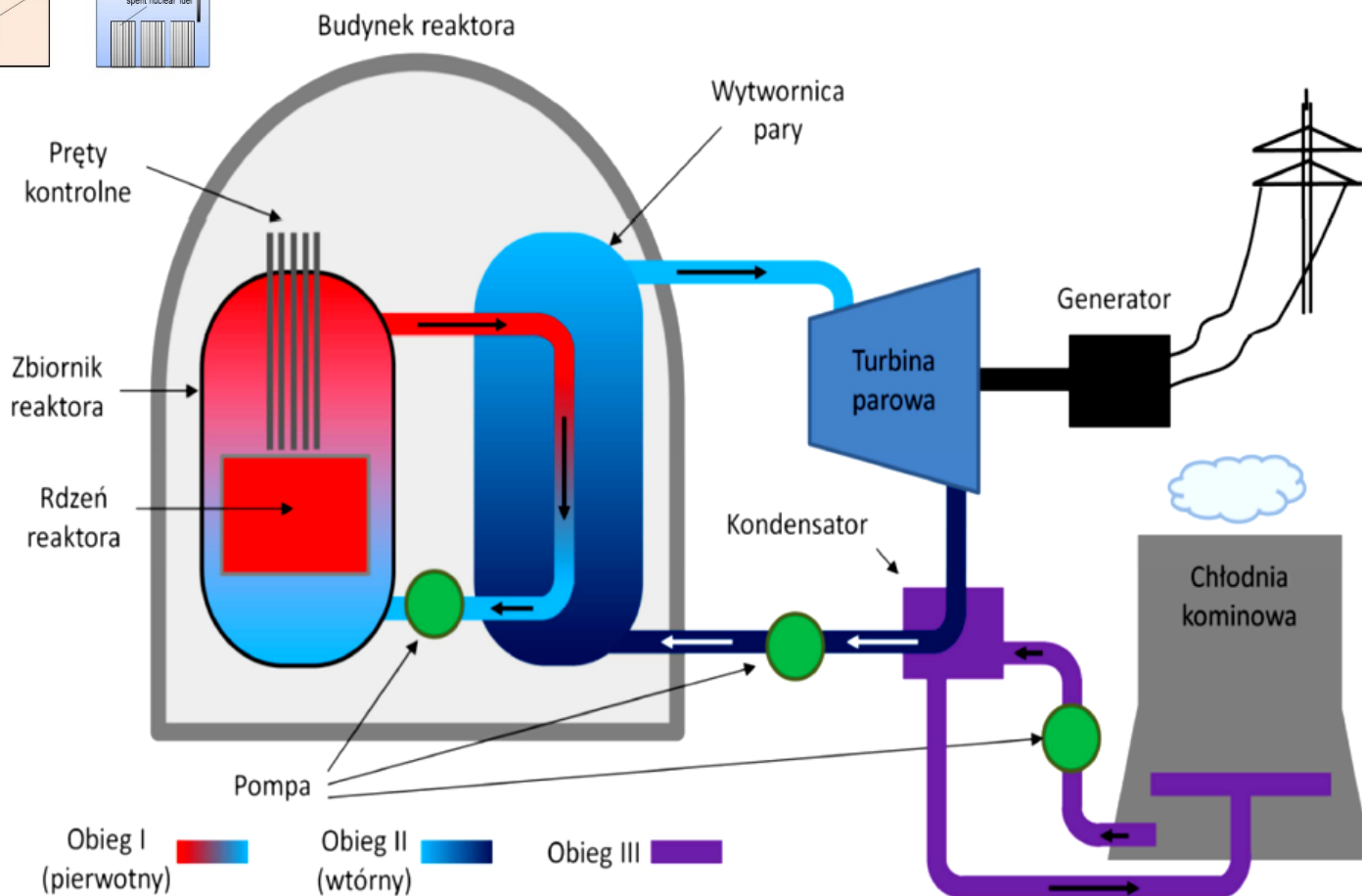
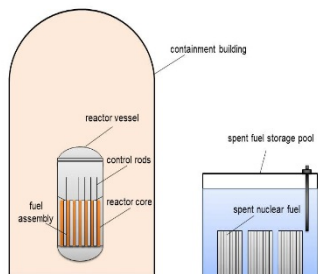
Rozwój technologii jądrowych





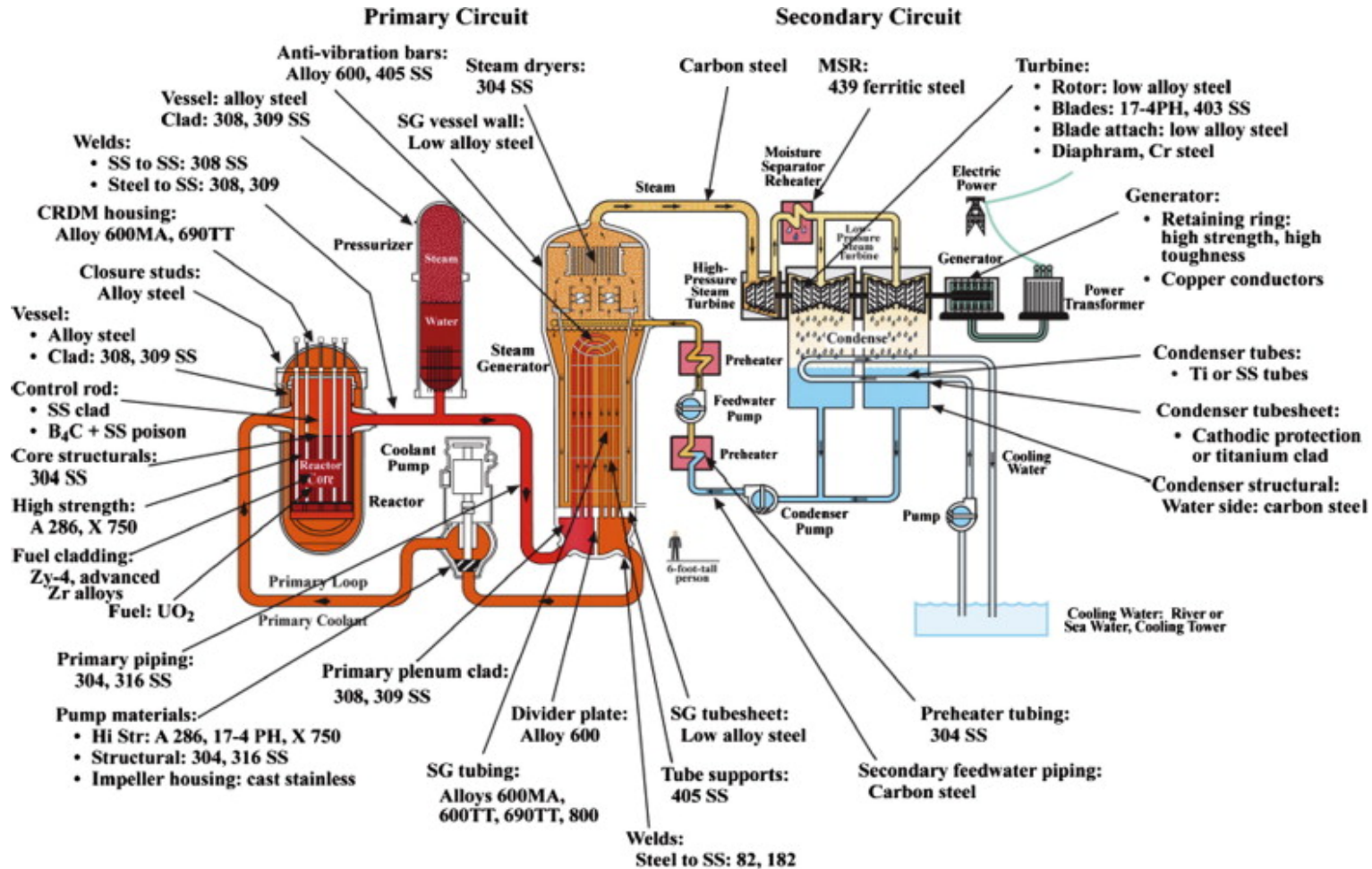
Obecnie dostępne reaktory

PWR lekkowodny



Chemia w energetyce jądrowej

- Cykl paliwowy – otwarty i zamknięty
- Chemia chłodziwa w obiegu pierwotnym i zbiornikach do wstępnego przechowywania wypalonego paliwa
- Rekuperacja wodoru
- Korozja i degradacja materiałów
- Emisje gazowe
- Działania awaryjne
- Przerób i składowanie odpadów promieniotwórczych
- Zamknięcie i dekontaminacja elementów zamykanej elektrowni jądrowej
- Monitoring środowiskowy



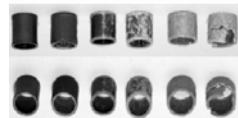
Materiały i reakcje

Gen. II, III & III+ oraz zbiorniki zużytego paliwa

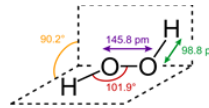
- Chemia radiacyjna odgrywa dużą rolę w dziedzinie inżynierii reaktorowej obejmując wszystkie aspekty radiolizy wody w reaktorach **BWR** jak i **PWR** - **zwiększenie szybkości procesów korozji**
- **Degradacja materiałów organicznych** (izolacja kabli, farby i lakiery , uszczelki)
- Warunki awaryjne

Radiation induced corrosion

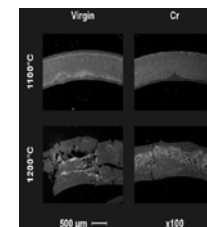
- Podobnie jak w przypadku korozji związanej z oddziaływaniem roztworów związków chemicznych, **korozja indukowana radiacyjnie** jest przyspieszana przez podwyższoną temperaturę i pH cieczy chłodzącej. Jej szybkość zależy od dawki, szybkości dawkowania i rodzaju promieniowania (LET). W związku z przebiegającą w czasie korozją, jej efekty winny być przewidywane i oceniane w trakcie wszystkich etapów cyklu paliwowego , a w szczególności przy przechowywaniu paliwa wypalonego.
- Promieniowanie może wpływać na zmianę warunków panujących w obiegu wodnym, nawet w warunkach utrzymywania potencjału redukcyjnego obserwowane są uszkodzenia materiałów konstrukcyjnych (pękanie korozyjne śrub wykonanych ze stali austenitycznej w reaktorach PWR). Związane jest to z radiolizą wody i tworzeniem **H₂O₂**.



Korozja generowana przez promieniowanie



- **Promieniowanie wpływa na chemię chłodziwa i przewidzenie skutków jego radiolizy jest podstawowe dla zapobieżenia korozji naprężeniowej (SCC).**
- W wyniku radiolizy wody, woda obiegowa zawiera od 100 do 300 ppb ditlenku wodoru.
- Zjawiska te były niedostrzegane we wstępnej fazie projektowania reaktorów BWR. Teraz są stosowane działania zapobiegawcze.
- Obniżenie stężenia ditlenku wodoru z 1 do 10 ppb powoduje obniżenie potencjału elektrochemicznego poniżej - 230mV, co efektywnie eliminuje SCC w nierdzewnej stali austenitycznej..



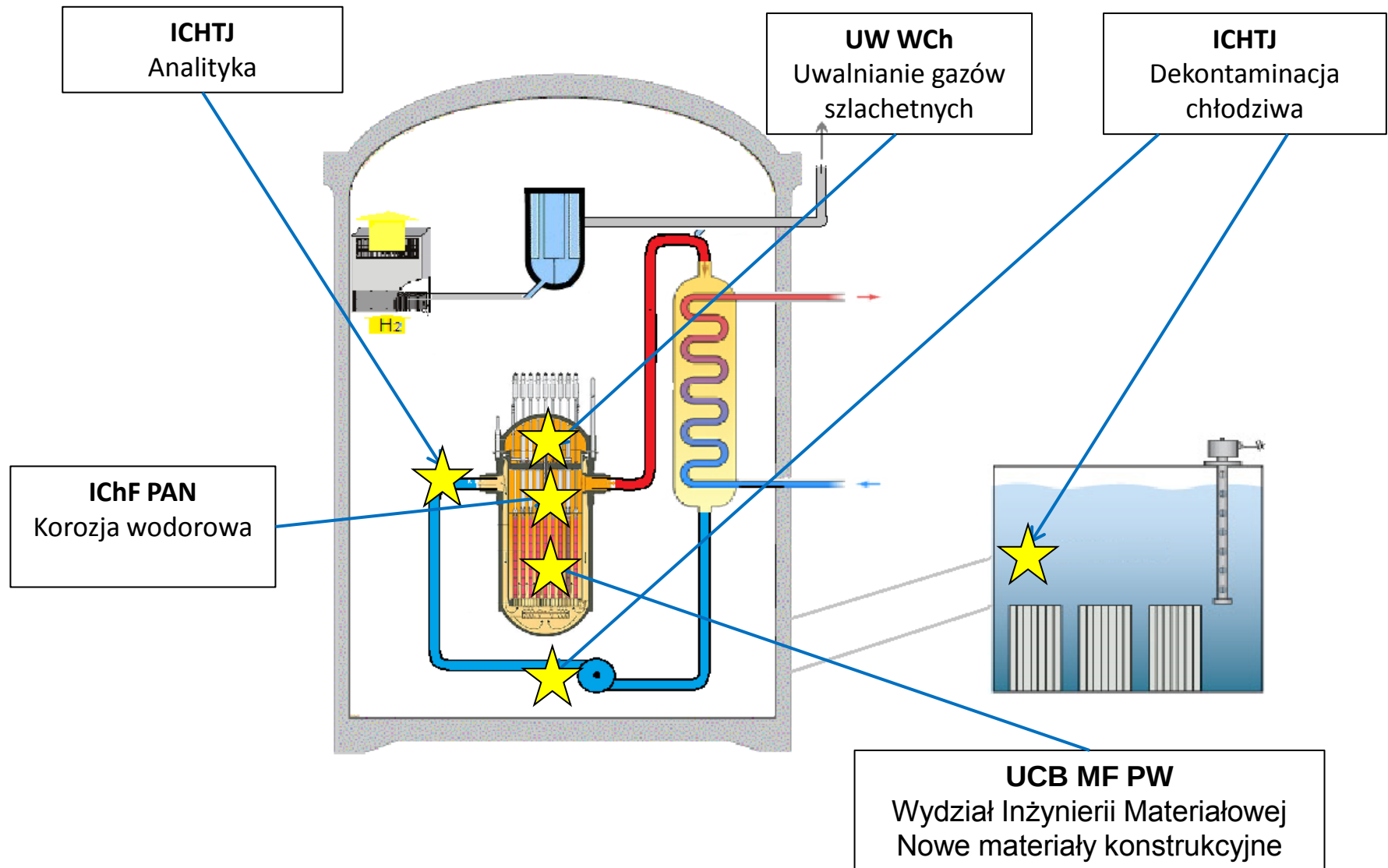
ZADANIE BADAWCZE NR 8 – „Analiza procesów zachodzących przy normalnej eksploatacji obiegów wodnych w elektrowniach jądrowych z propozycjami działań na rzecz podniesienia poziomu bezpieczeństwa jądrowego”.

Cele szczegółowe zadania badawczego zostały określone następująco:

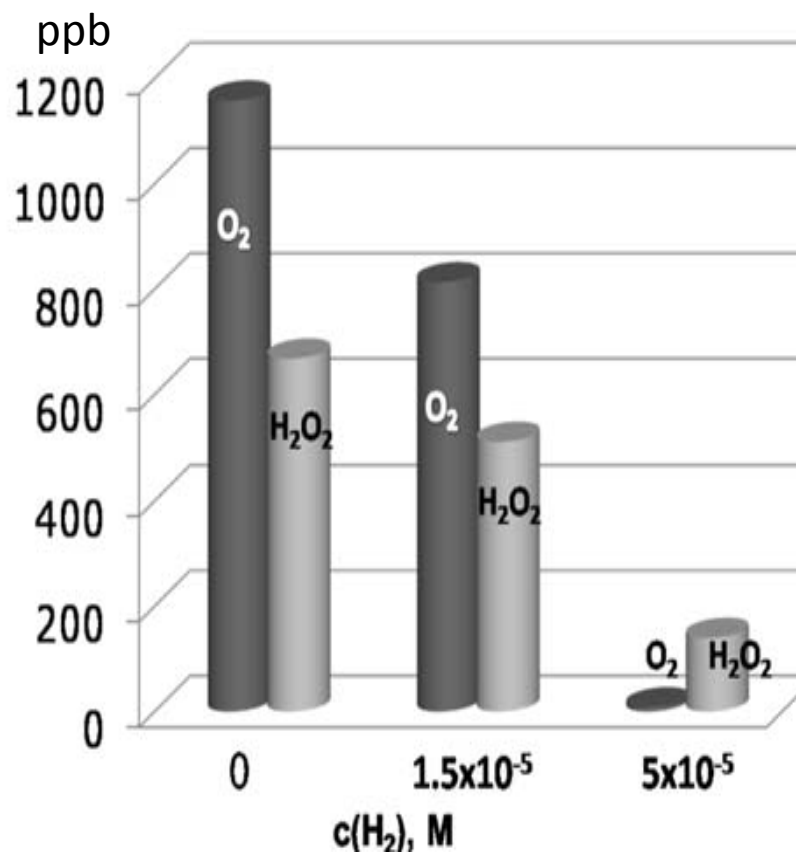
- 1. Weryfikacja metody oceny szczelności prętów paliwowych w oparciu o analizę zawartości produktów rozszczepienia w chłodziwie.**
- 2. Zbadanie możliwości zmniejszenia dawki promieniowania otrzymywanej przez personel elektrowni a pochodzącej od produktów korozji materiałów obiegu pierwotnego.**
- 3. Opracowanie ulepszonych technologii dekontaminacji urządzeń obiegu pierwotnego.**
- 4. Opracowanie metod syntezy wymiennicy jonowych do oczyszczania wody chłodzącej w reaktorach lekkowodnych i w zbiornikach przechowawczych wypalonego paliwa.**

Zadanie Badawcze nr 8

„Analiza procesów zachodzących przy normalnej eksploatacji obiegów wodnych w elektrowniach jądrowych z propozycjami działań na rzecz podniesienia poziomu bezpieczeństwa jądowego”.



Wtrysk wodoru w celu obniżenia stężenia utleniaczy



Cyrkonowe (Zircaloy) osłony elementów paliwowych w warunkach pracy reaktora (~160 atm, ~300 °C) ulegają reakcji z wodą:

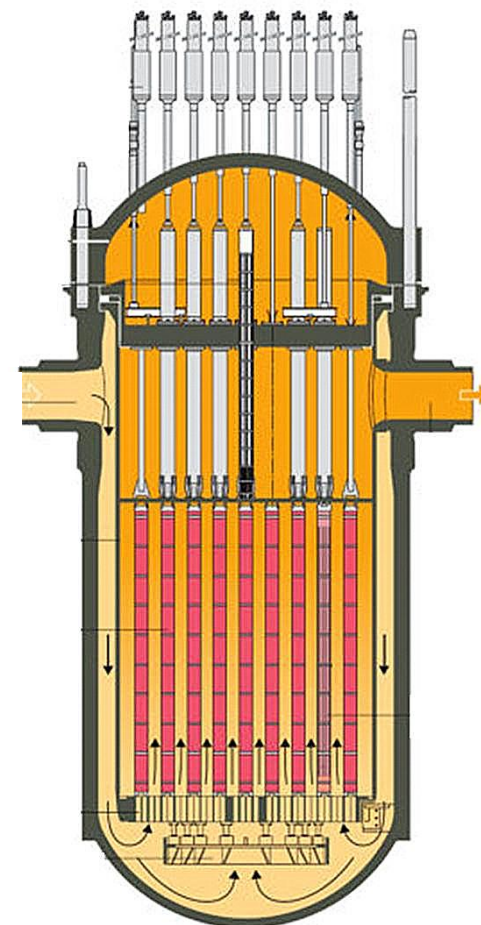


Wydzielający się wodór stwarza dwa główne zagrożenia:

- **wybuch mieszaniny wodoru z tlenem**
- **korozja (kruchość) wodorowa (KW)**

Zapobieganie:

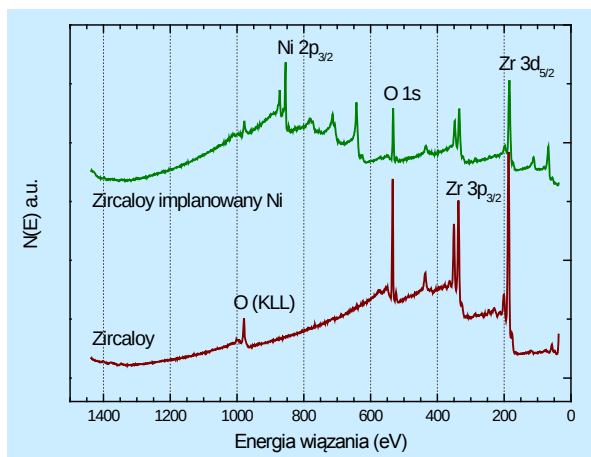
- (I) usuwanie (neutralizacja) wydzielającego się wodoru
- (II) kontrola/utrudnianie absorpcji wodoru



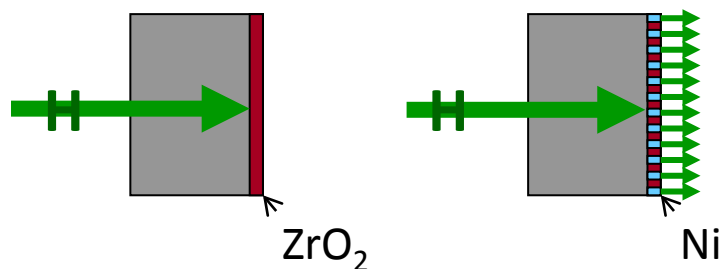
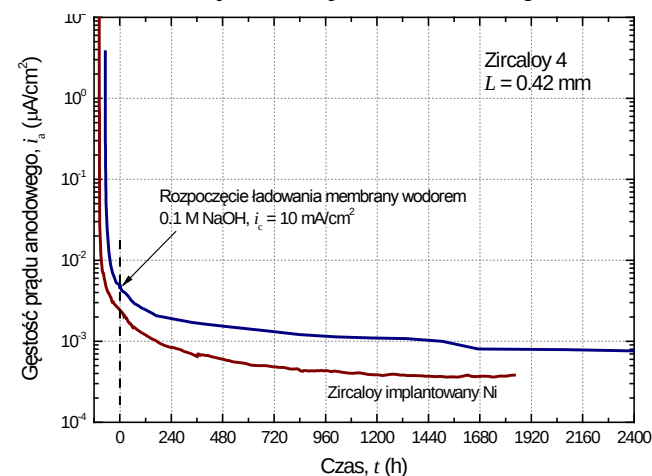
Absorpcja wodoru przez stopy cyrkonu

W celu usunięcia przeszkody, próbki Zircaloy 4 poddano jonowej implantacji niklem, który w pomiarach elektrochemicznych nie blokuje desorpcji wodoru.

Analiza XPS implantowanych próbek wskazuje na częściowe pokrycie powierzchni stopu przez Ni.

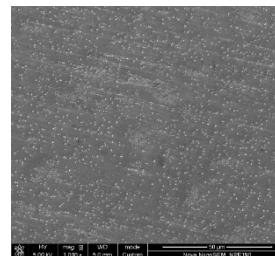


Zastosowana implantacja okazała się nieskuteczna.

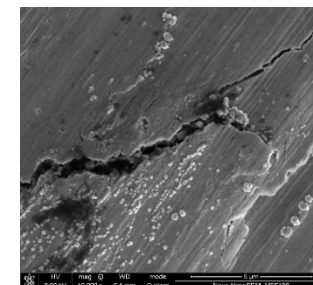


Nikiel powinien odgrywać rolę „okienek” dla wodoru i tym samym umożliwić pomiar jego desorpcji (absorpcji).

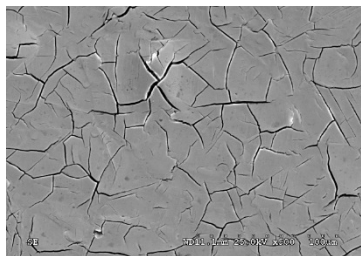
Wodór na pewno wnika i penetruje w głąb stopu.



SEM wejściowej strony membrany po 20 h katodowej polaryzacji.



Zadanie Badawcze nr 8



Pęknienie w stopie o wysokiej zawartości niklu wywołane korozją wodorową



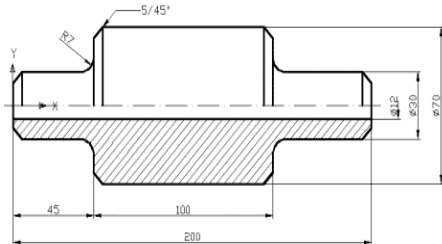
(Korozja naprężeniowa)



Pęknięcie w spoinie wysokoniklowej wywołane wpływem ciepła podczas spawania oraz korozją naprężeniową w czasie eksploatacji

Naprężenia eksploatacyjne w instalacji związane z podwyższonym ciśnieniem

Środowisko korozyjne

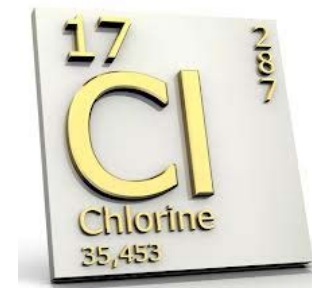


Zapobieganie

Przekrój połączenia spawanego z fazowaną powierzchnią zmniejszającą naprężenia

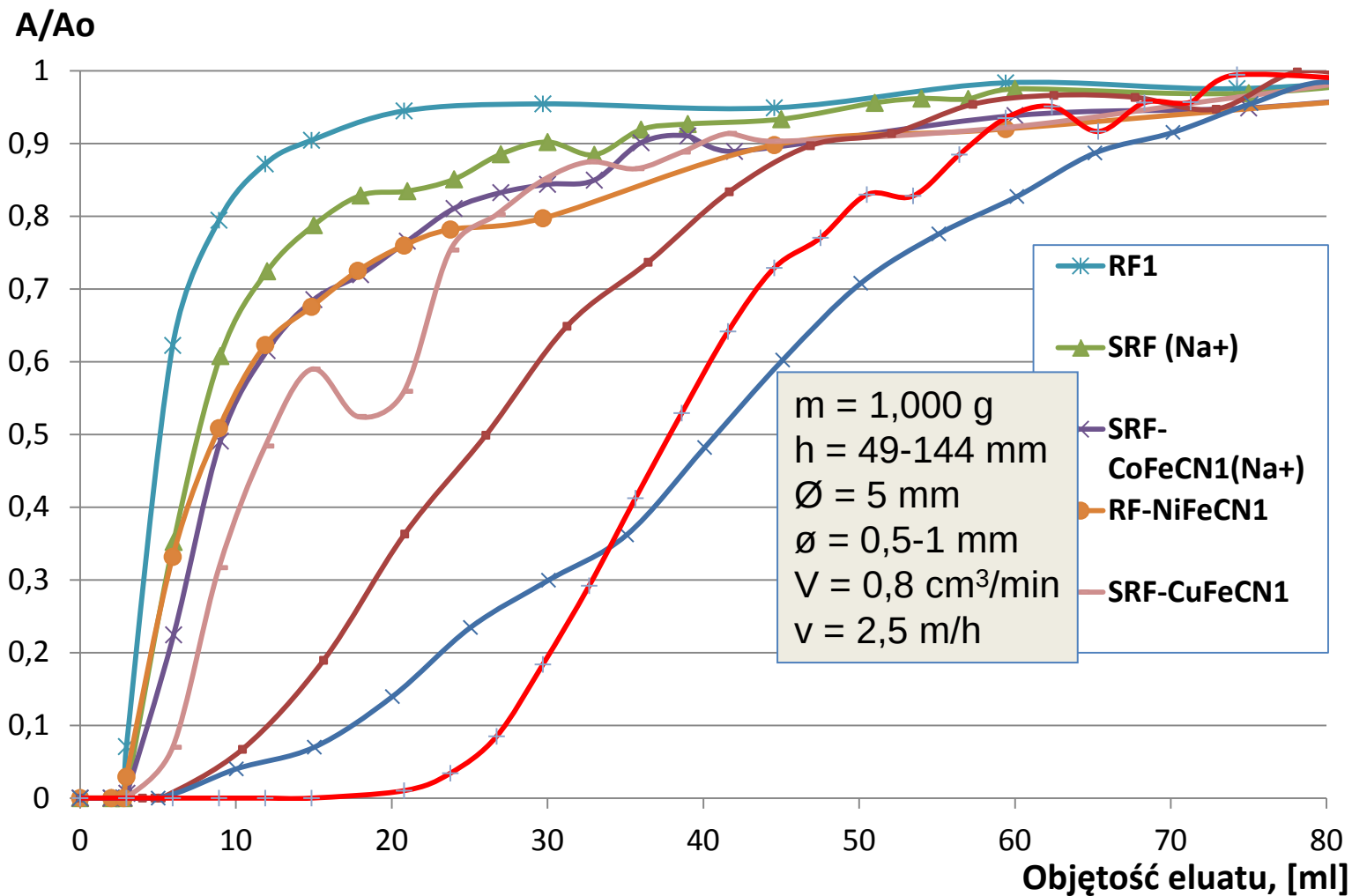
Stopy o określonej zawartości niklu

Zmniejszenie koncentracji naprężeń poprzez odpowiednią obróbkę mechaniczną elementów konstrukcyjnych



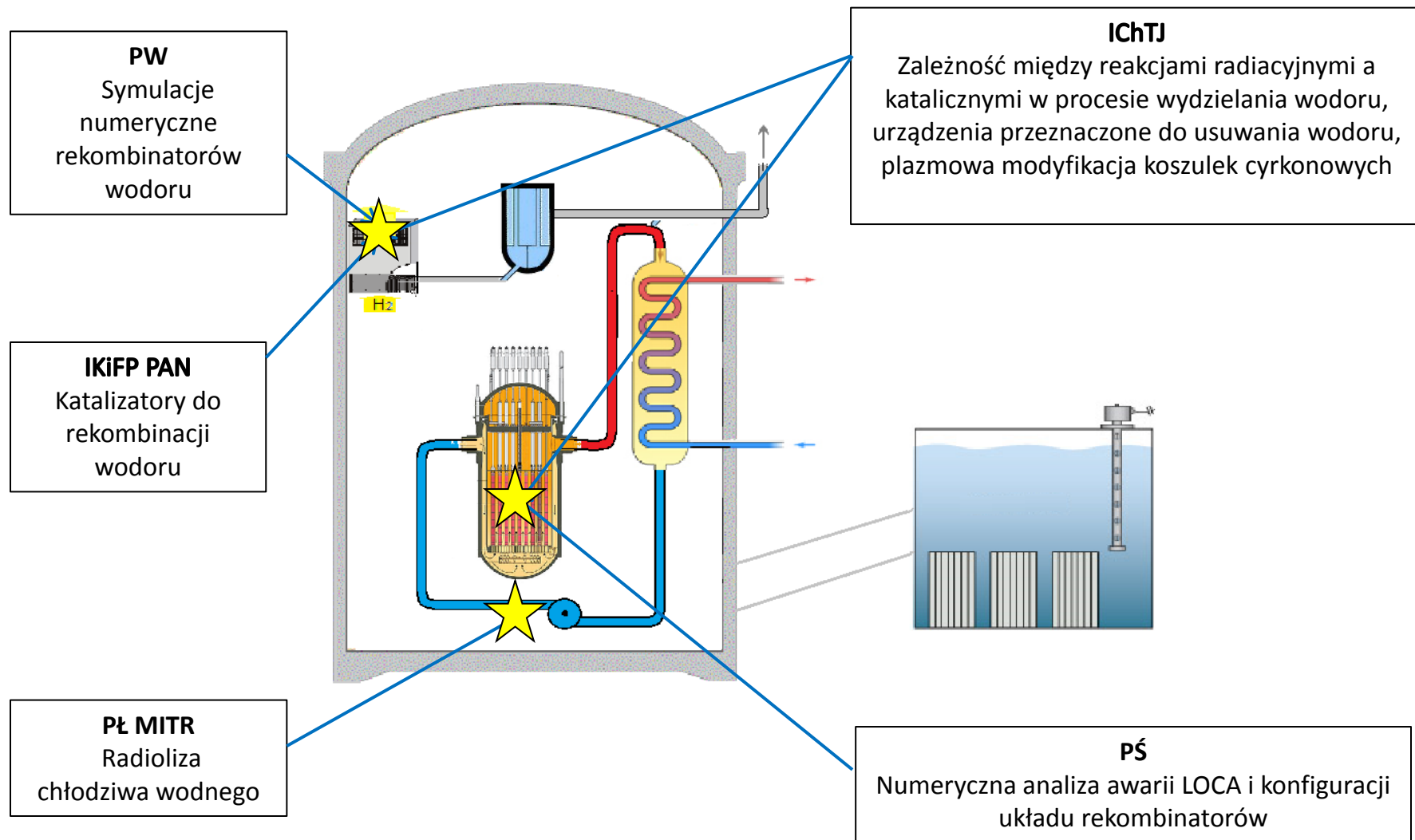
Eliminacja stężenia czynnika agresywnego (np. jonów Cl^-)

KRZYWE PRZEBICIA 0,01M Cs⁺ W WODZIE MORSKIEJ

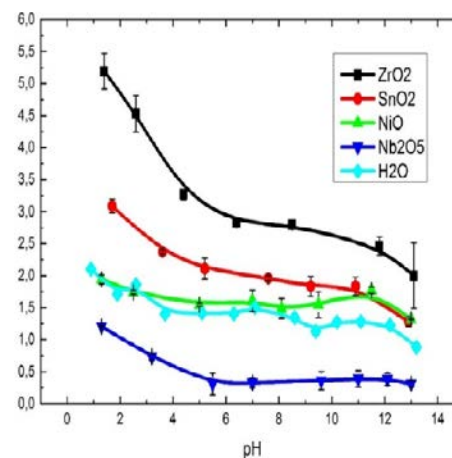
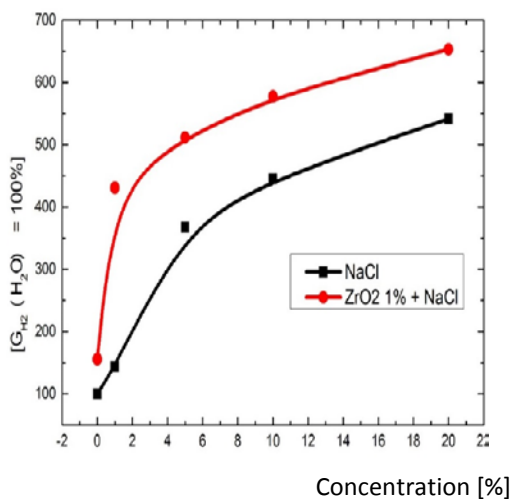
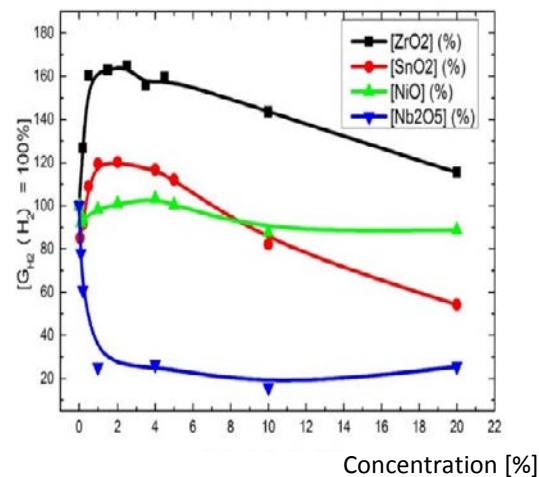
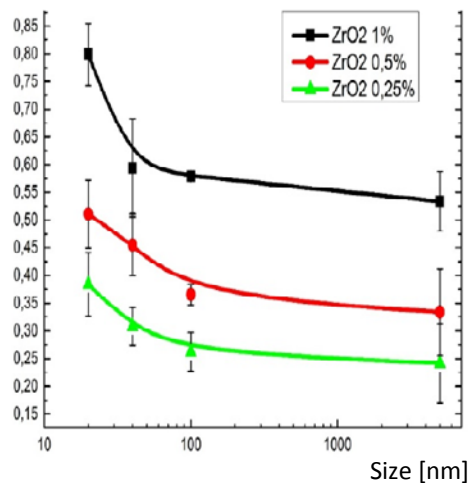


Zadanie Badawcze nr 7

Analiza procesów generacji wodoru w reaktorze jądrowym w trakcie normalnej eksploatacji i w sytuacjach awaryjnych, z propozycjami działań na rzecz podniesienia poziomu bezpieczeństwa jądrowego



Radiochemical generation of hydrogen

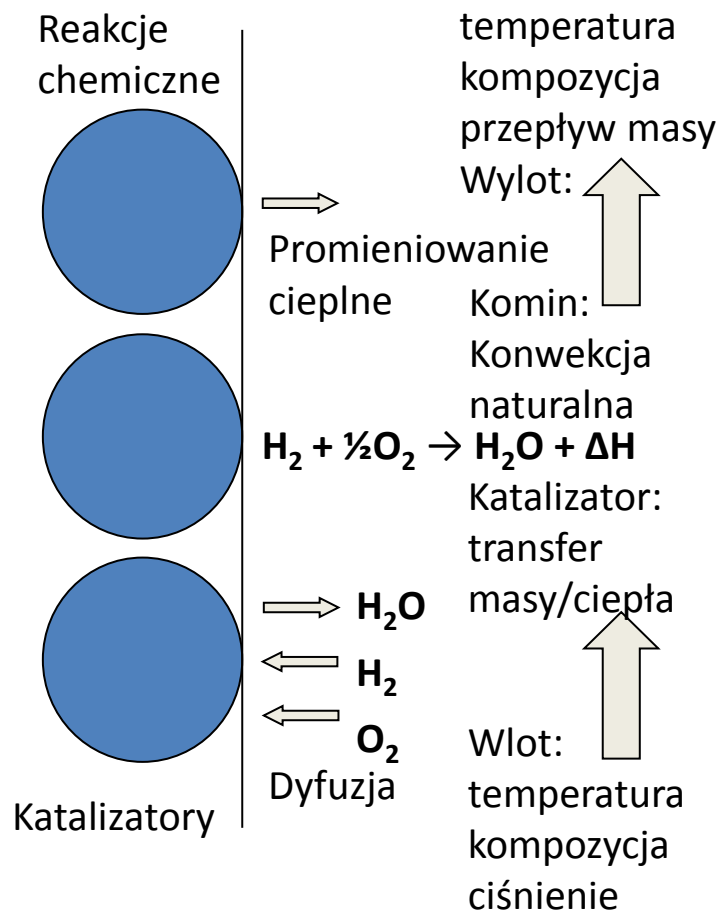


Katalityczne rekombinatory wodoru

ICH TJ+PW+PŚ

Oczekiwane rezultaty badań:

- 1) Opracowanie przestrzennego modelu katalitycznego rekombinatora wodoru,
- 2) Opracowanie uproszczonego modelu rekombinatora do szybkich obliczeń inżynierskich,
- 3) Określenie intensywności cyrkulacji gazu w obudowie bezpieczeństwa i szybkości usuwania z niego wodoru przy użyciu układu rekombinatorów w trakcie normalnej pracy reaktora i w sytuacjach awaryjnych
- 4) Analiza efektywności pracy systemu usuwania wodoru
- 5) Analiza optymalizacyjna rozmieszczenia urządzeń do usuwania wodoru



Zadanie Badawcze nr 7

Analiza procesów generacji wodoru w reaktorze jądrowym w trakcie normalnej eksploatacji i w sytuacjach awaryjnych, z propozycjami działań na rzecz podniesienia poziomu bezpieczeństwa jądrowego
Kierownik zadania badawczego: prof. dr hab. inż. Jacek Michalik

Projektowanie katalizatorów do rekombinacji wodoru i tlenu pod kątem kontroli ich aktywności

IKChP

Synteza i charakteryzacja katalizatorów:
tekstura, dyspersja metalu
XRD, XPS, SEM, TEM

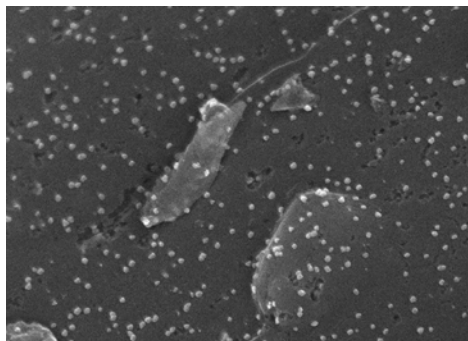
Aktywność reakcji $H_2 + O_2$
reaktor przepływowy,
0.5 – 1 % H_2 w powietrzu,
GHSV 1000 – 40 000 h⁻¹
pomiar: konwersja H_2 ,
temperatura

Efekty cieplne
towarzyszące
Rekombinacji
 $H_2 + O_2$
mikrokalkulacja
przepływowa

Badania wykonano dla katalizatorów: nanocząstki metali osadzone na nośnikach

Pt, Pd, Pd-Pt, Pd-Au

zawartość metalu 0.2–2 wt. %
cząstki metalu 2- 10 nm
penetracja w ziarnach nośnika



$\gamma-Al_2O_3$, SiO_2
mezoporowate tlenki metali
przejściowych;
Mo-, W- montmorylonity
dotowane Al, Zr
blacha Fe-Cr-Al

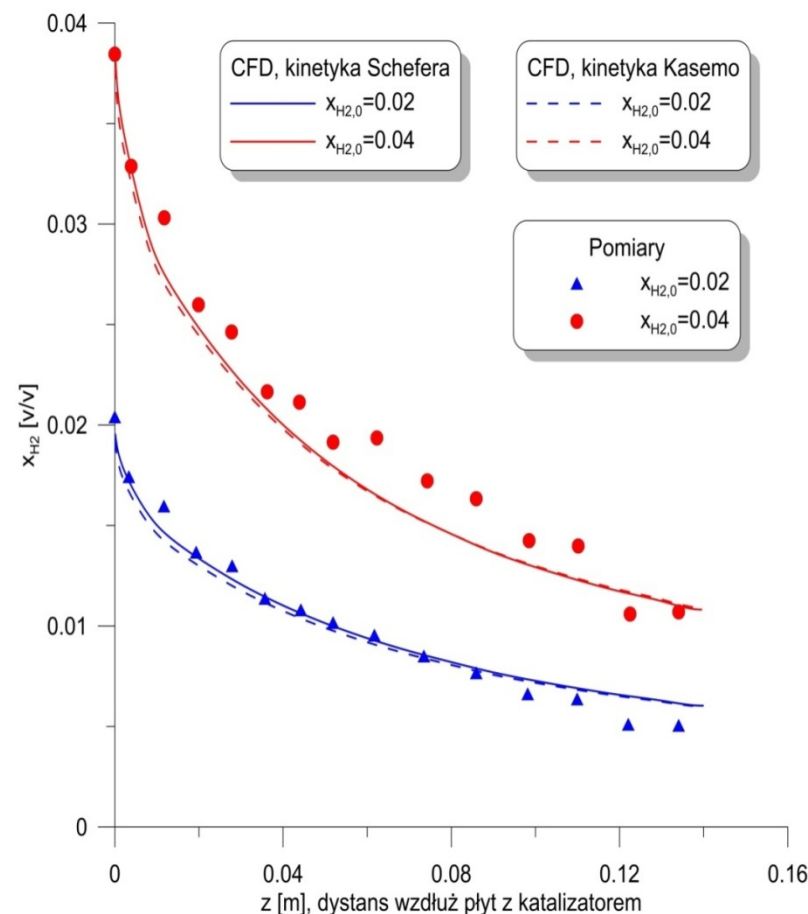
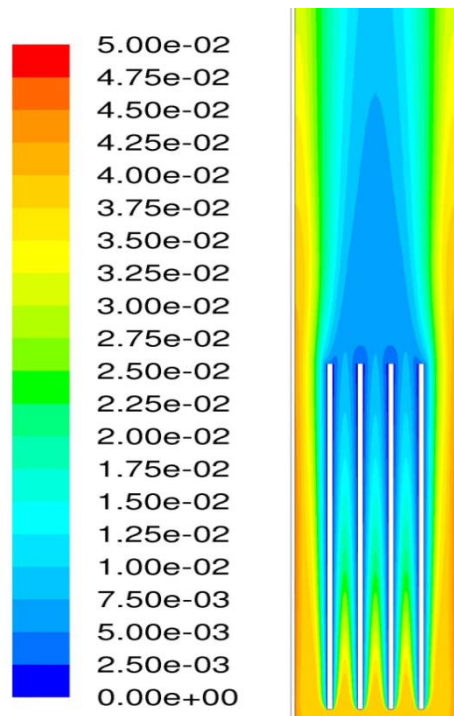
Najbardziej obiecujące katalizatory:

nanocząstki bimetaliczne Pd-Pt, Pd-Au
nośniki zawierające Mo, W, Zr

Porównanie wyników doświadczalnych z wynikami modelowania CFD

Zmiana stężenia wodoru wzdłuż rekombinatora z katalizatorem platynowym

Gaz wlotowy: wodór 4% v/v, para wodna 0% v/v,
T=298 K, prędkość dopływu 1,6 m/s.



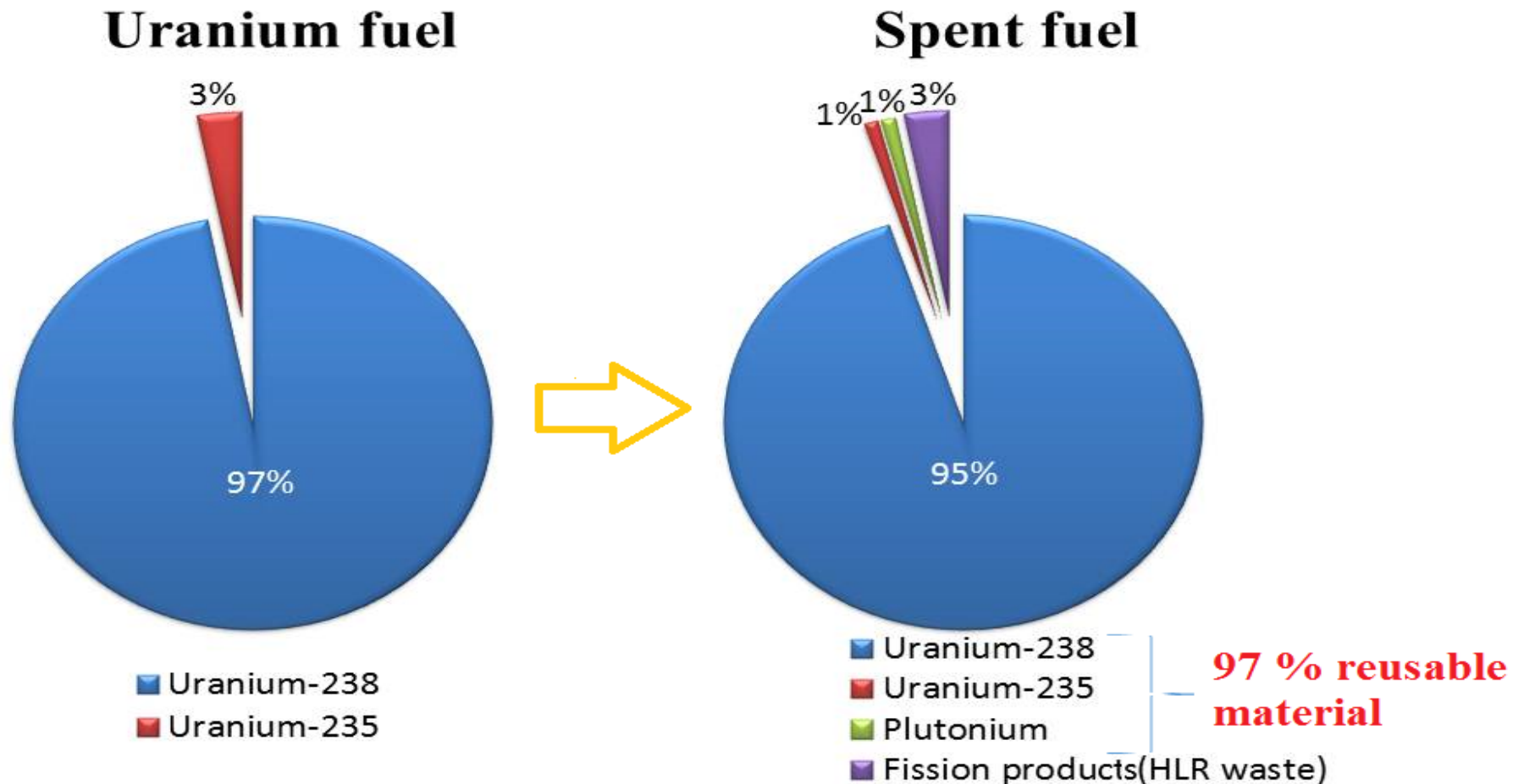
ADVANCE - Ageing Diagnostics and Prognostics of low-voltage I&C cables

Objective: The assessment of the condition of low-voltage instrumentation, control, and power cables in nuclear power plants is of increasing importance as plants age and lifetime extensions are envisaged. Furthermore as new reactors are being constructed and many other are planned for the near future, the initial cables choice and the use of effective in-situ condition monitoring (CM) techniques to follow cable condition indicators from the beginning, can result to be very valuable at a later time for an effective cable lifetime management.

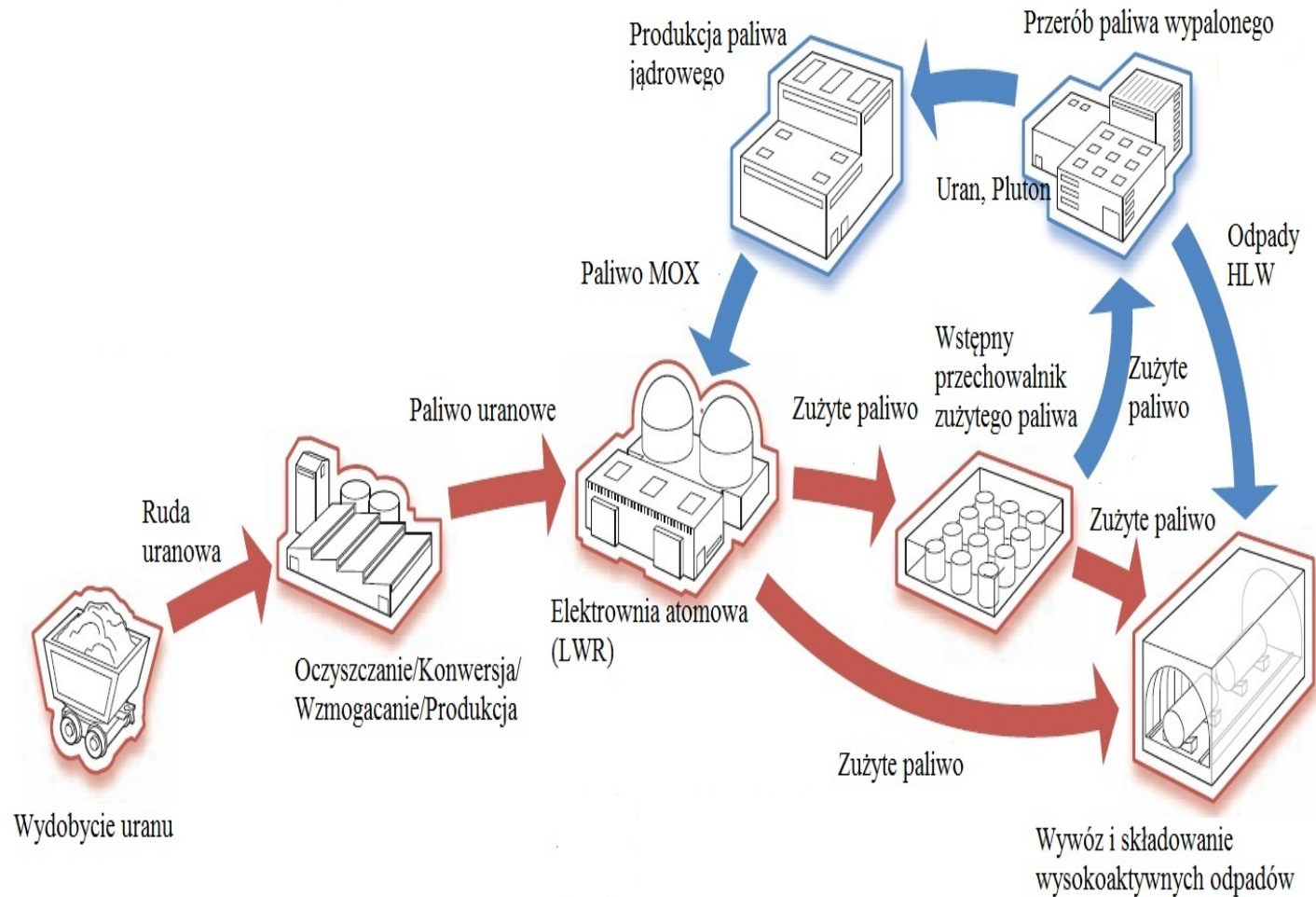
The overall objective of the proposed project is to adapt, optimise and assess electrical CM techniques for nuclear cables that would allow utilities to assess in-situ the current cable degradation condition and, together with the establishment of appropriate acceptance criteria, to verify its qualified state over its entire length and to estimate its residual lifetime.



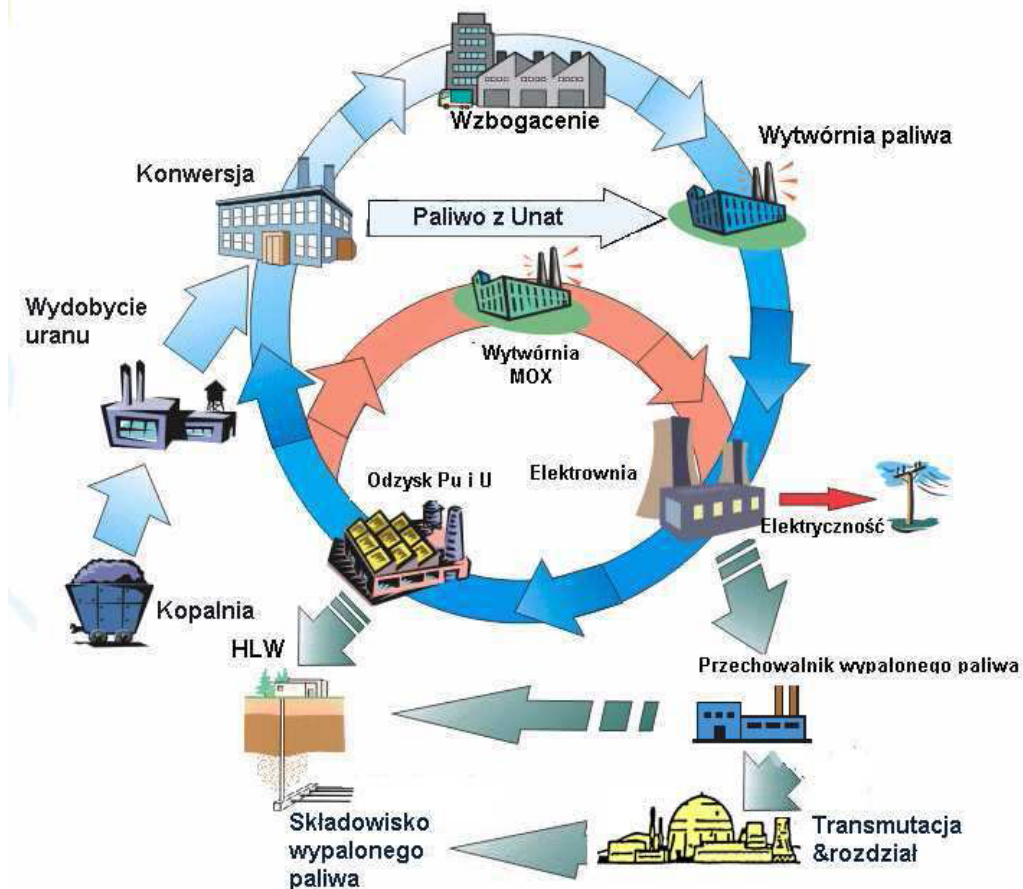
Wykorzystanie paliwa w reaktorach lekkowodnych (niskie)



Schemat cyklu paliwowego; kolor czerwony – otwartego, kolor czerwony oraz niebieski – półzamkniętego

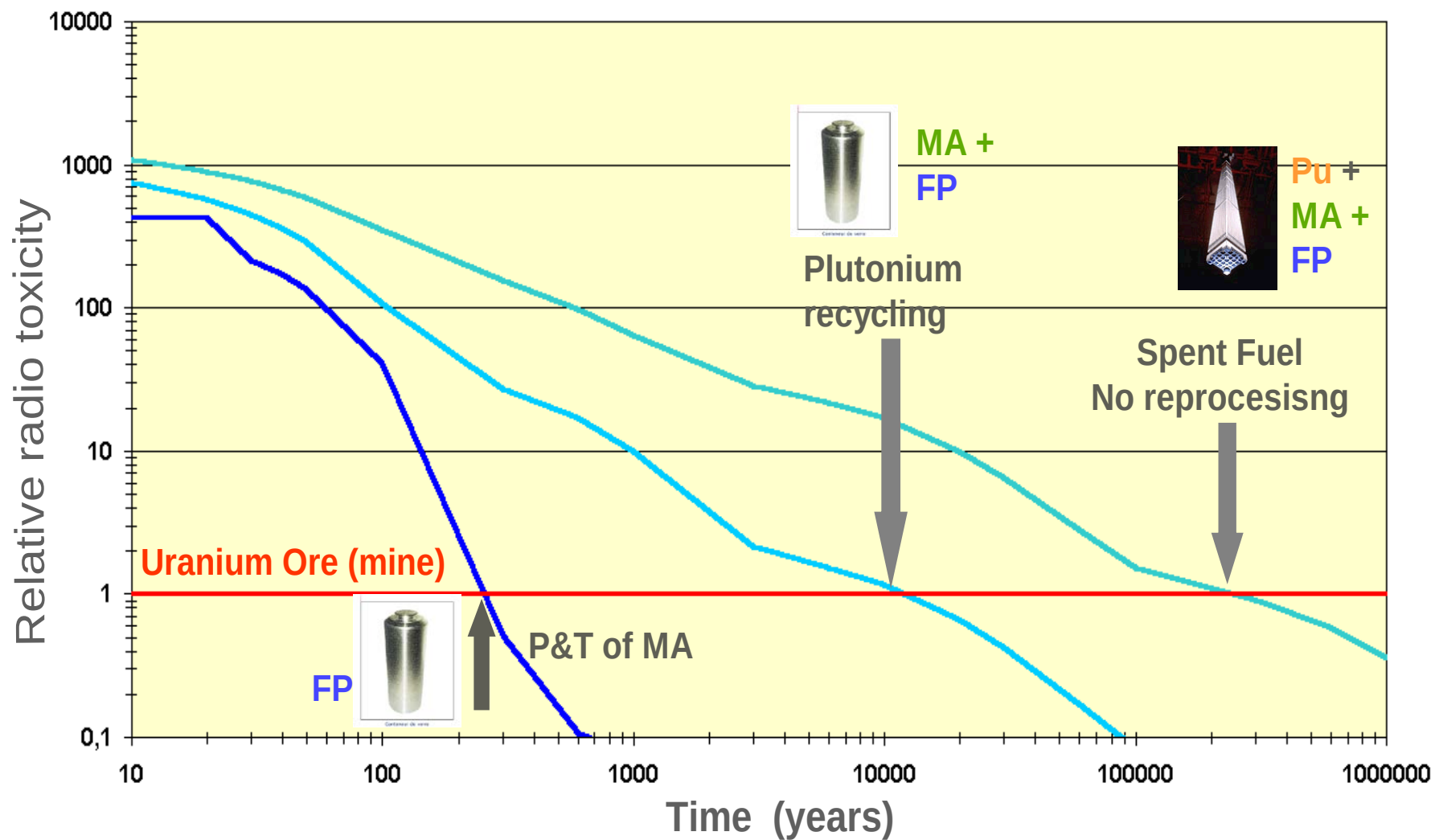


Cykl zamknięty z transmutacją MA



Przerób paliwa wypalonego

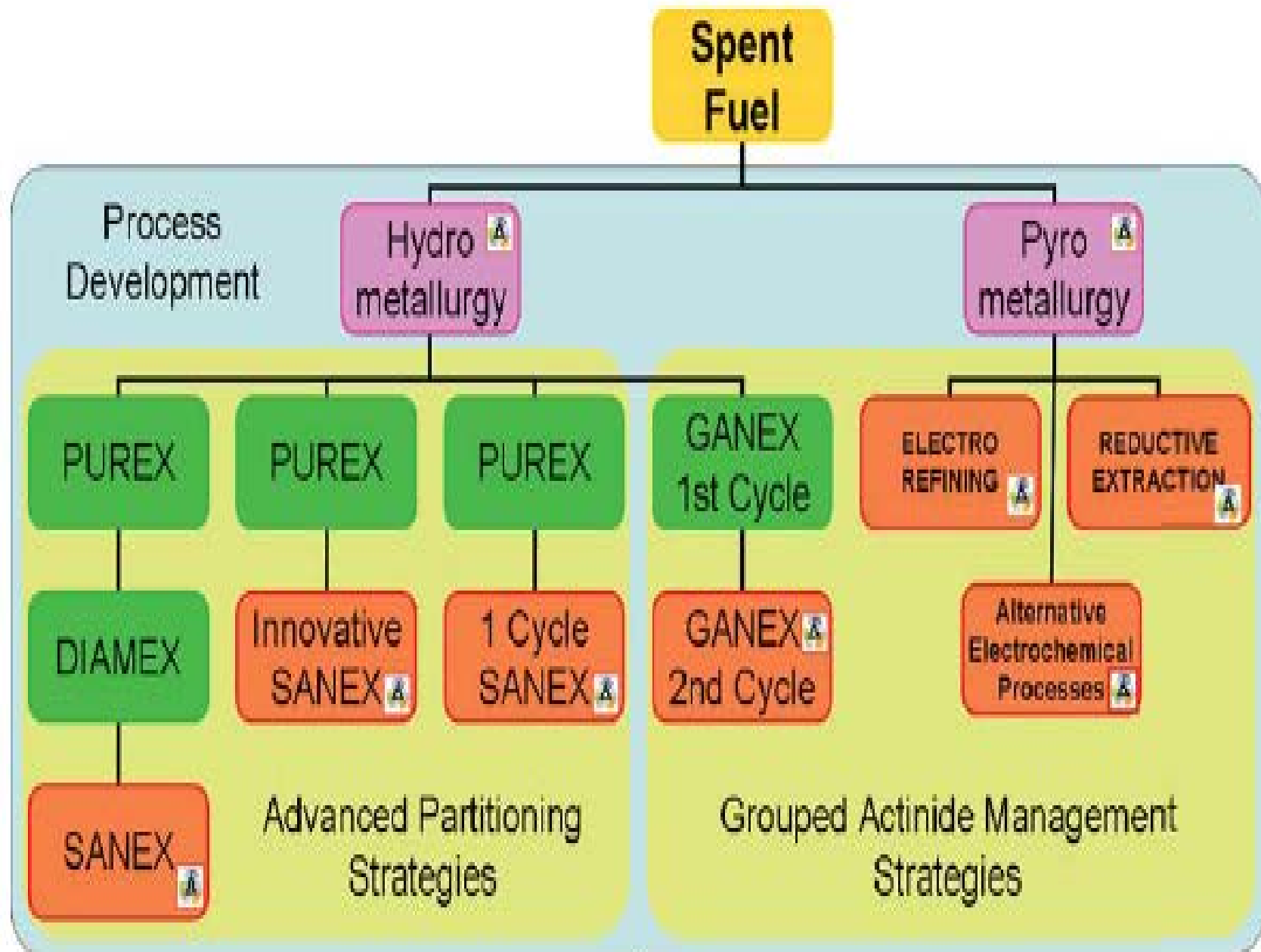
- Lepsza ekonomia wykorzystania uranu
- Zmniejszenie radiotoksyczności HLW
- Zmniejszenie objętości HLW i wielkości składowiska



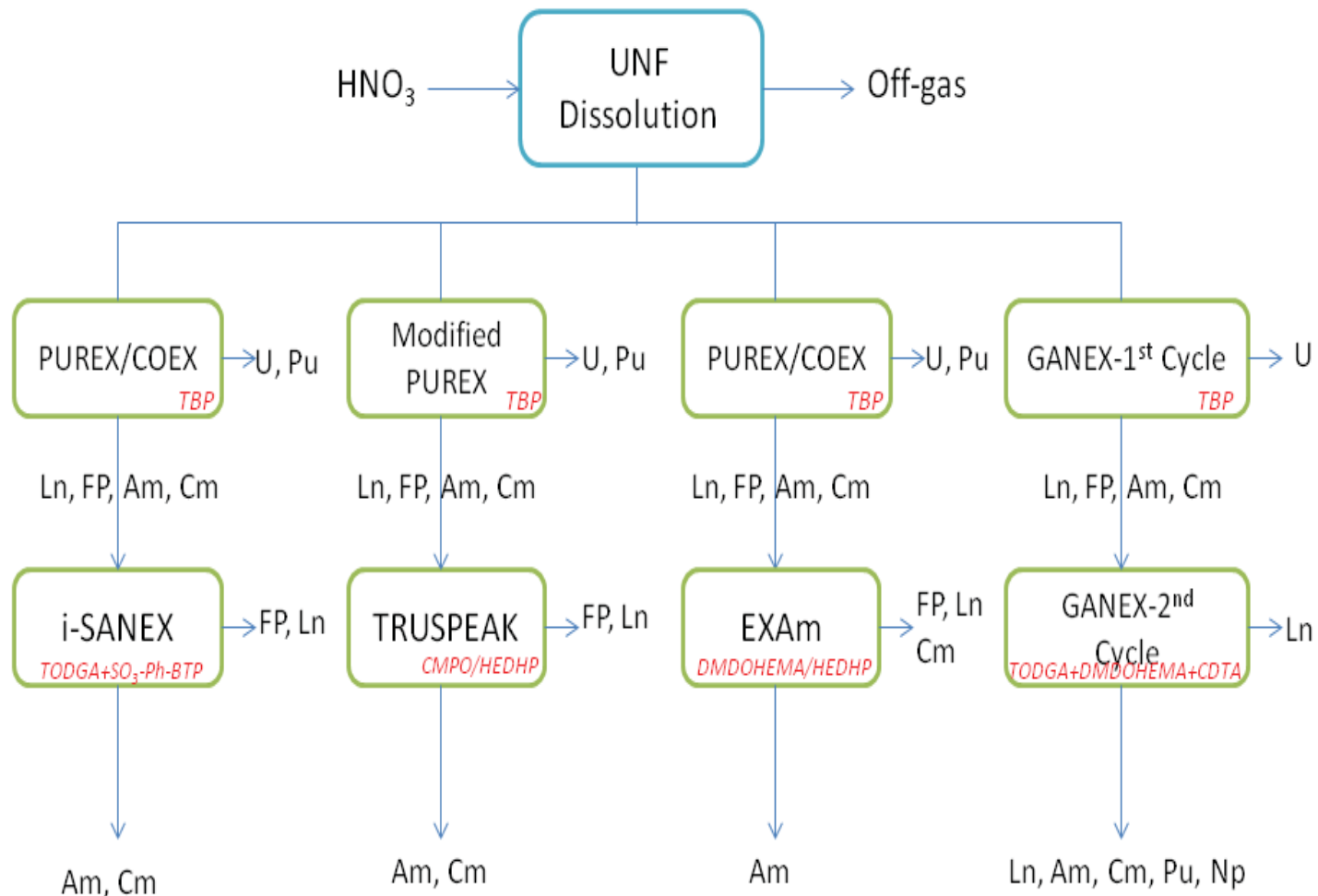
Nowe technologie przerobu paliwa

Ilość Unat/1 TWh	Ilość odpadów/1TWh	Okres sklad.
<i>Cykl otwarty (wypal. 50 GWd/tU)</i> 25,5 ton	2,5 ton	130 000 lat
<i>Cykl zamknięty z MOX</i> 21,5 ton	0,535 ton	3 000 lat
<i>Cykl zamknięty z reprocessingiem aktynowców</i> 13,7 ton	125 kg	500 lat
<i>Reaktor na stopionych solach</i> 50 kg Unat+50 kg Th	100 kg	500 lat

Porównanie charakterystyk cykli paliwowych reaktorów energetycznych



Simplified processes for minor actinides recovery



Przyszłość dotyczy rozwoju nowych technologii przerobu paliwa i reaktorów wykorzystujących neutrony prężkie (Gen IV).

- Niezbędkne będzie wykorzystanie zamkniętych cykli paliwowych z recyklingiem aktynowców w celu lepszego wykorzystania izotopów rozszczepialnych i ograniczeniem masy składowanych izotopów dęgożyciowych i generujących ciepło.
- Obecnie w Europie w ciągu roku powstaje ok 2500 ton zużytego paliwa, zawierającego 25 t plutonu , 3,5 t aktynowców mniejszościowych (MA, t.zn. Np, Am, Cm) i 3 t dęgożyciowych produktów rozszczepienia (LLFPs).
- **W Europie, rozważa się dwa scenariusze:**
 - (i) heterogeniczny recykling aktynowców przy zastosowaniu Advanced PUREX w połączeniu z procesem DIAMEX-SANEX do recyklingu (U, Np, Pu) i (Am, Cm);
 - (ii) homogeniczny recykling wszystkich aktynowców (U-Cm) z wykorzystaniem procesu Grouped Actinide Extraction (GANEX).

Przerób paliwa wypalonego – procesy rozdzielcze

- **Radioliza w wyniku oddziaływania promieniowania alfa, beta i gamma**
 - **Kwasy**
 - **Rozpuszczalniki**
 - **Ekstrahenty**

Nowe ekstrahenty

- Próby polepszenia radiolitycznej trwałości ekstrahentów - uzyskanie ulepszanego ekstrahenta w oparciu o analizę reakcji radiolizy związku



Advanced fuels for Generation IV
reActors: Reprocessing and Dissolution

DM2 WP 2.3
Co-conversion by sol-gel routes to
oxide materials

DM4 WP 4.1
Co-conversion to carbide
materials



„Technology Supporting Development
of Safe Nuclear Power”

Domain.3

Meeting the Polish nuclear power engineering's
demand for fuel – fundamental aspects
Stage 8 – Synthesis of fuel pellets of uranium
dioxide by CSGP
Stage 9 – Synthesis of precursors of mixed oxide
fuels

Domain.4

Development of Techniques and Technologies
Supporting Management of Spent Nuclear Fuel
and Radioactive Waste
Stage 2 – Synthesis of ZrO₂ by Complex Sol-Gel
Process (CSGP)
Stage 9 - The use of separated elements from
spent fuel for the production of precursors of new
nuclear fuels for a new generation of reactors



IChTJ works

Synthesis of thorium fuels
- ThO₂
- U_{1-x}Th_xO₂
- Th_{1-x}U_xO₂



Transnational Access to Large
Infrastructure for a Safe
Management of ActiNide

SACSESS (SAFETY OF ACTINIDE SEPARATION PROCESSES)

The Radiochemical Separation team continued the research on actinide/lanthanide separation by solvent extraction, in the frame of the European Collaborative Project SACSESS (Safety of actinide separation processes).

The SACSESS collaborative project provides a structured framework to enhance the fuel cycle safety associated to P&T. The SACSESS Consortium comprises 26 partners from across Europe.



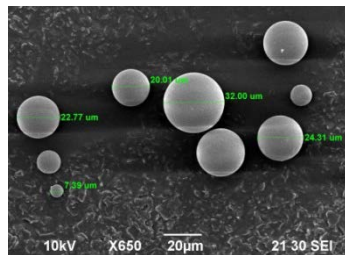
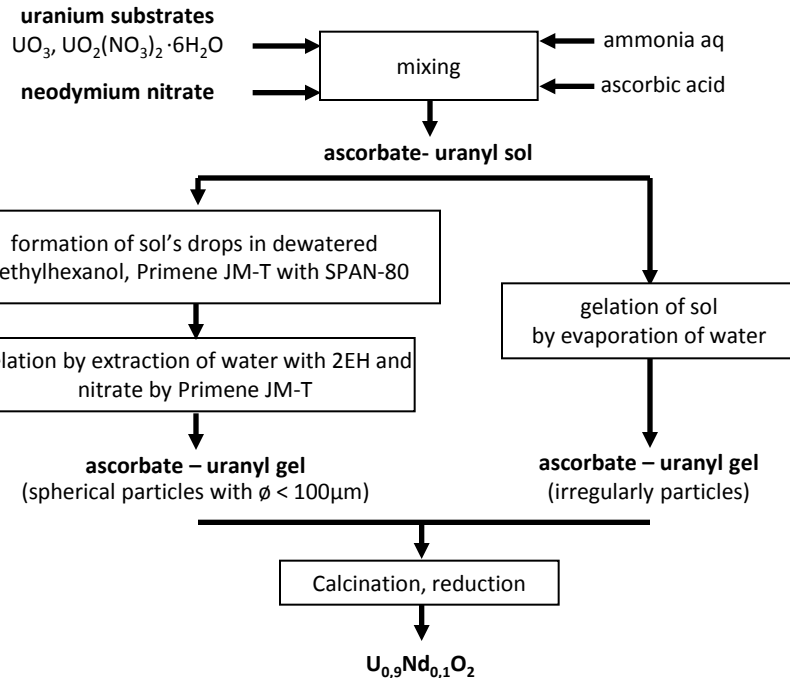
S. Bourg, J. Narbutt, „Towards safe and optimized separation processes, a challenge for nuclear scientists”, Editorial (by the Guest Editors), *Nukleonika*, 60, 807 (2015).

S. Bourg, A. Geist, J. Narbutt, „SACSESS – the EURATOM FP7 project on actinide separation from spent nuclear fuels”, *Nukleonika*, 60, 809-813 (2015).

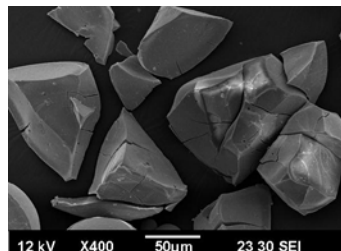


Project ACSEPT

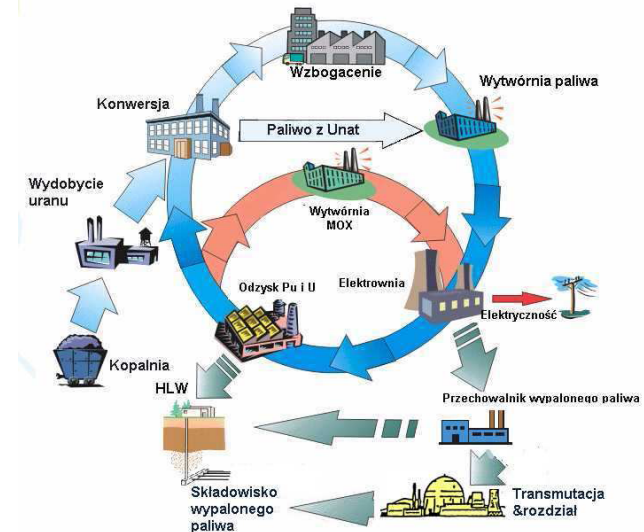
Actinide reCycling by SEParation and Transmutation,
no. FP7-CP-2007-211267, 2008-2012



spherical particles of UO_2



irregular particles of UO_2



Benefits:

- elaborated of universal method of synthesis of spherical particles ($\phi < 100\mu\text{m}$) uranium dioxide doped with 10_{mol}% of surrogates of americum (III) by connection of ICHTJ methods,
- dopants of surrogates does not form any separate structure,
- stable structure of spherical precursors for future nuclear fuel $\text{U}_{1-x}(\text{MAX})\text{O}_2$ (MA – minor actinide),
- efficiency of methods – approx. 99,5%,
- continuation ...



ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE

Task 4



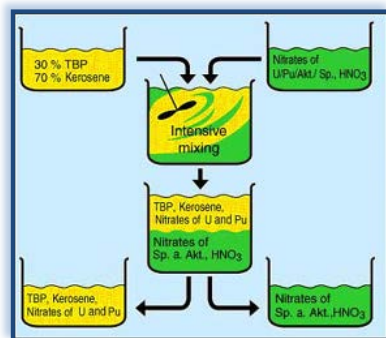
NPP

Odpady

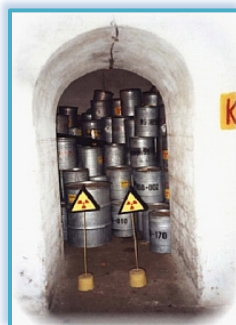


Składowanie paliwa

Przerób paliwa



Przemysł



Medycyna



Badania

Określenie strategii badawczo-rozwojowej dla potrzeb planu postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem - Opracowanie wykonane w ramach umowy MG Nr IV/17/P/15004/4390/12/DEJ

- Przerób odpadów i ich zestalanie;
- Bariery ochronne;
- Migracja radionuklidów;
- Back end cyklu paliwowego;
- Przerób paliwa;
- Tranmutacja;
- Zamykanie elektrowni.

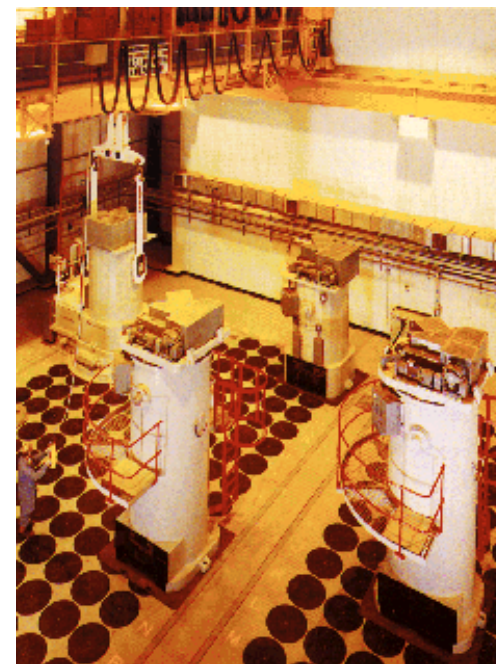
Nowoczesna zasada przeróbki wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych (HLRW) wymaga frakcyjnego rozdzielania składników paliwa wypalonego , takich jak ^{235}U i ^{239}Pu , aktynowców mniejszościowych (^{241}Am , ^{244}Cm , ^{237}Np) oraz produktów rozszczepienia (^{137}Cs i ^{90}Sr), a następnie ich zestalenie lub transmutacja w krótko-życiowe izotopy.

Zatężanie odpadów ciekłych :

- odparowanie,
- sorpcja i wymiana jonowa,
- techniki membranowe.

Zestalanie odpadów promieniotwórczych:

- witrifikacja,
- SYNROC,
- bituminizacja,
- cementowanie,
- inne.



Zestalanie odpadów promieniotwórczych

W każdym pojemniku (kanistrze) mieści się 400 kg masy szklanej.

Odpady z jednego roku pracy reaktora o mocy 1000 MWe, to 5 ton takiego szkła lub 12 kanistrów wysokości 1,3 m i średnicy 0,4 m.

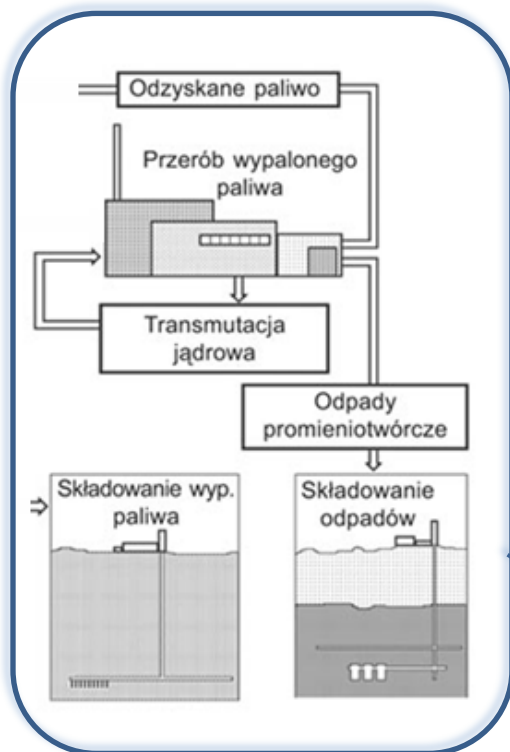
Kanistry te łatwo transportować i przechowywać w odpowiednich warunkach osłonowych.

Przetwórnice wypalonego paliwa we Francji, Wielkiej Brytanii i Belgii wytwarzają rocznie około 1000 ton takiego zeszkłonego paliwa (2500 kanistrów).

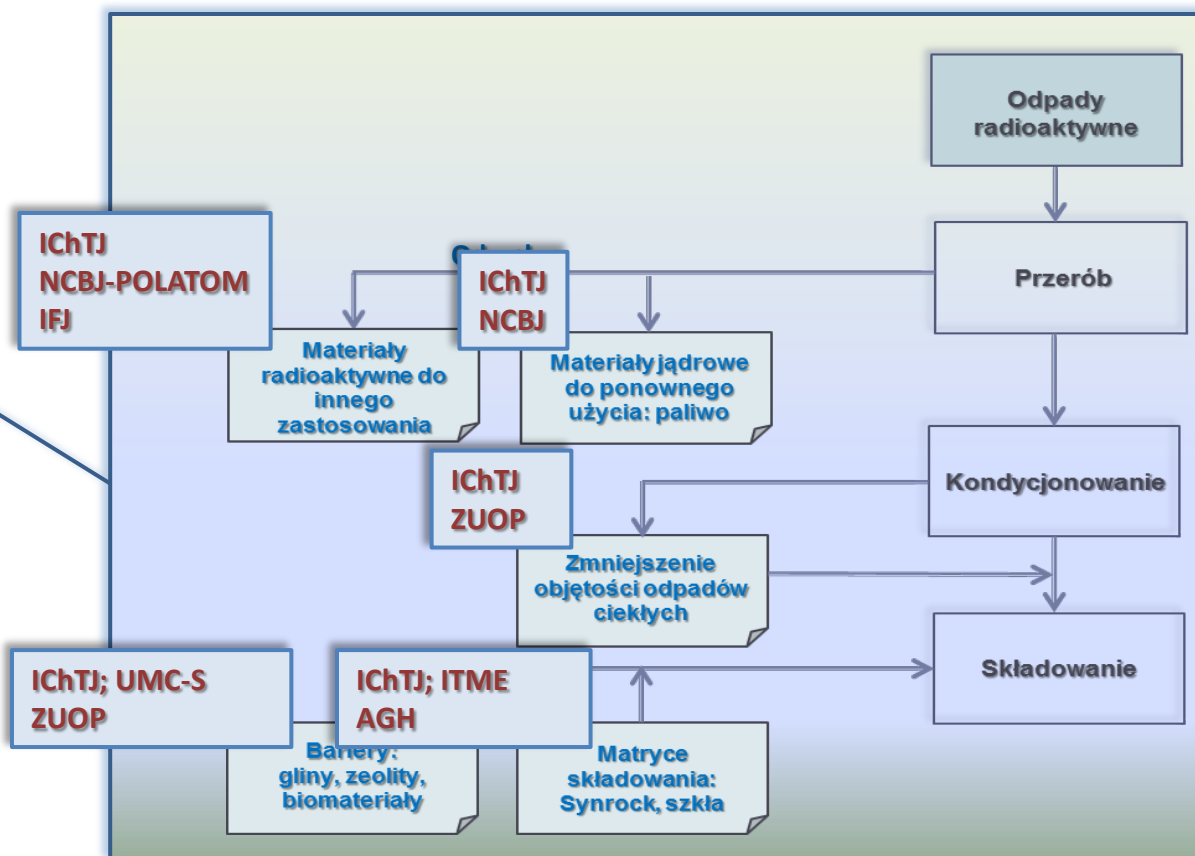


Pokazany blok szkła boro - silikatowego odpowiada ilości 0,25 kg odpadów promieniotwórczych o wysokiej aktywności pochodzących z energii elektrycznej produkowanej w EJ, przypadających na jednego człowieka w czasie jego całego życia.

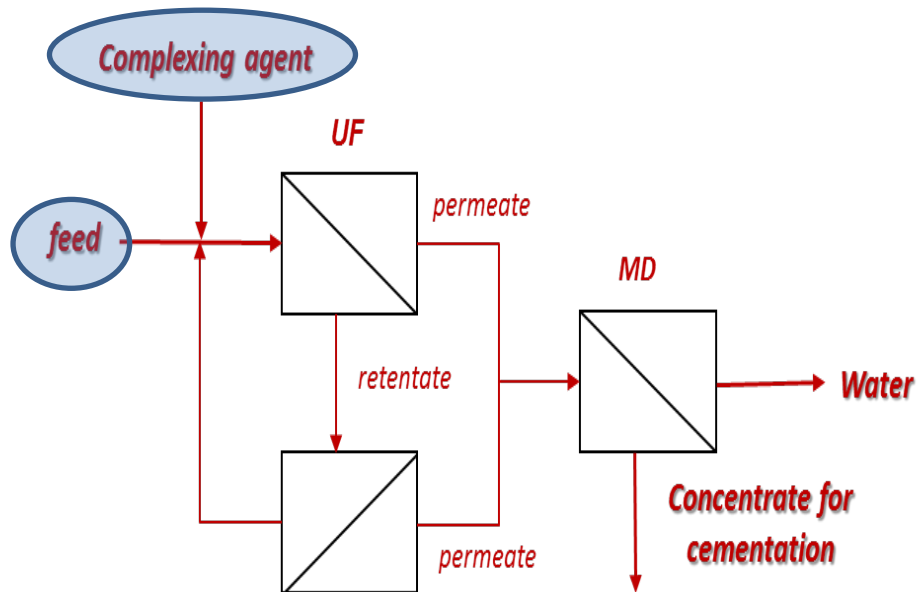
Ilość odpadów wysokoaktywnych



Schemat postępowania z wypalonym paliwem oraz z innymi odpadami radioaktywnymi



Nisko i średnioaktywne ciekłe odpady promieniotwórcze



Destylacja Membranowa



Instalacja wdrożona w ZUOP = UF+RO

Zestalanie odpadów promieniotwórczych

SYNROCK



Szkła

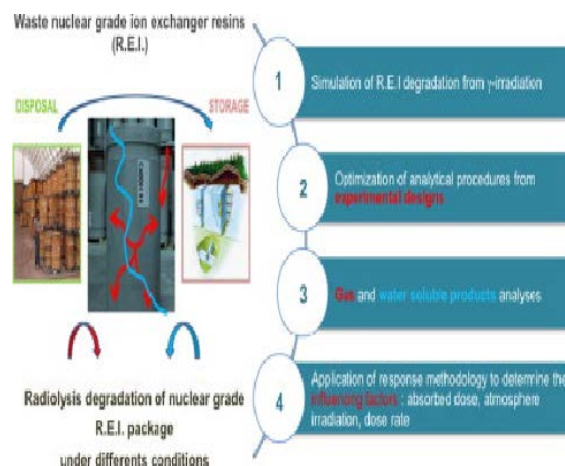


Synrock

1. Patent nr P-390467 (Białoruś 2012)
Sposób unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych w szklach krzemionkowych
 Twórcy: A. Chmielewski, A. Deptuła, M. Miłkowska, W. Łada, T. Olczak
2. Zgłoszenie patentowe EP13176463.1 (2013)
Sposób unieszkodliwiania odpadów radioaktywnych w syntetycznej skale
 Twórcy: T. Smoliński, A. Chmielewski, A. Deptuła, W. Łada, T. Olczak

Kondycjonowanie odpadów promieniotwórczych

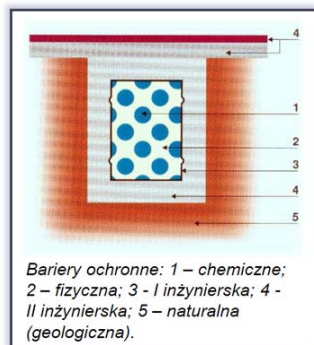
- Wymieniacze jonowe & sorbenty (organiczne/kompozytowe) - degradacja radiacyjna
- Główne produkty radiolizy γ badanych wymieniaczy jonowych to wodór, ditlenek węgla i trietyloamina**



Lokalizacja nowego składowiska

- Metodologia oceny środowiskowej dla powierzchniowego składowiska odpadów LLW i MLW.
- PIG PIB & ICHTJ & IS PAN & IGF PAN & Geoprojekt SA & ZUOP.

Bariery ochronne

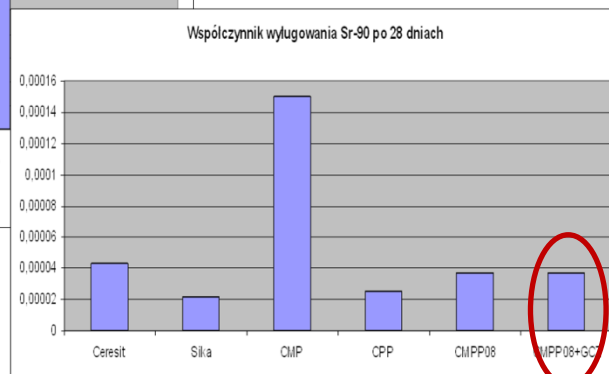
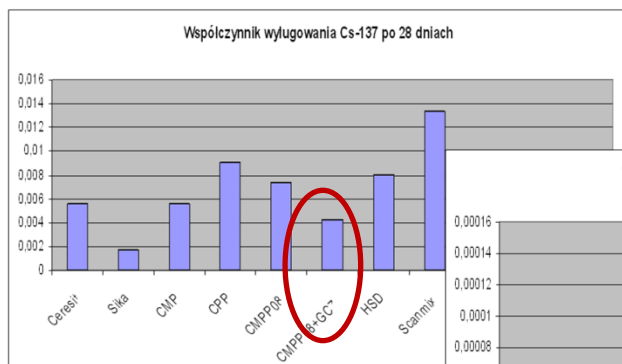


Czerwone gliny

1 MG= 53 PLN.



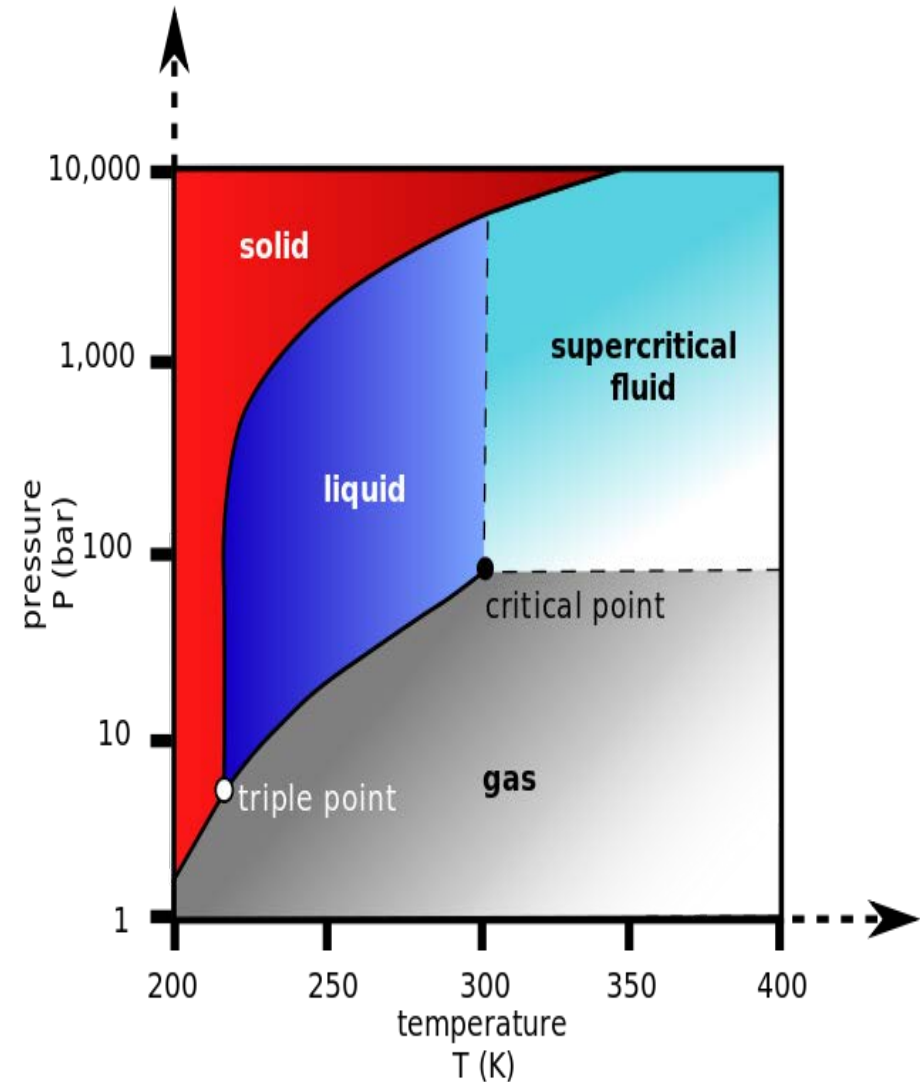
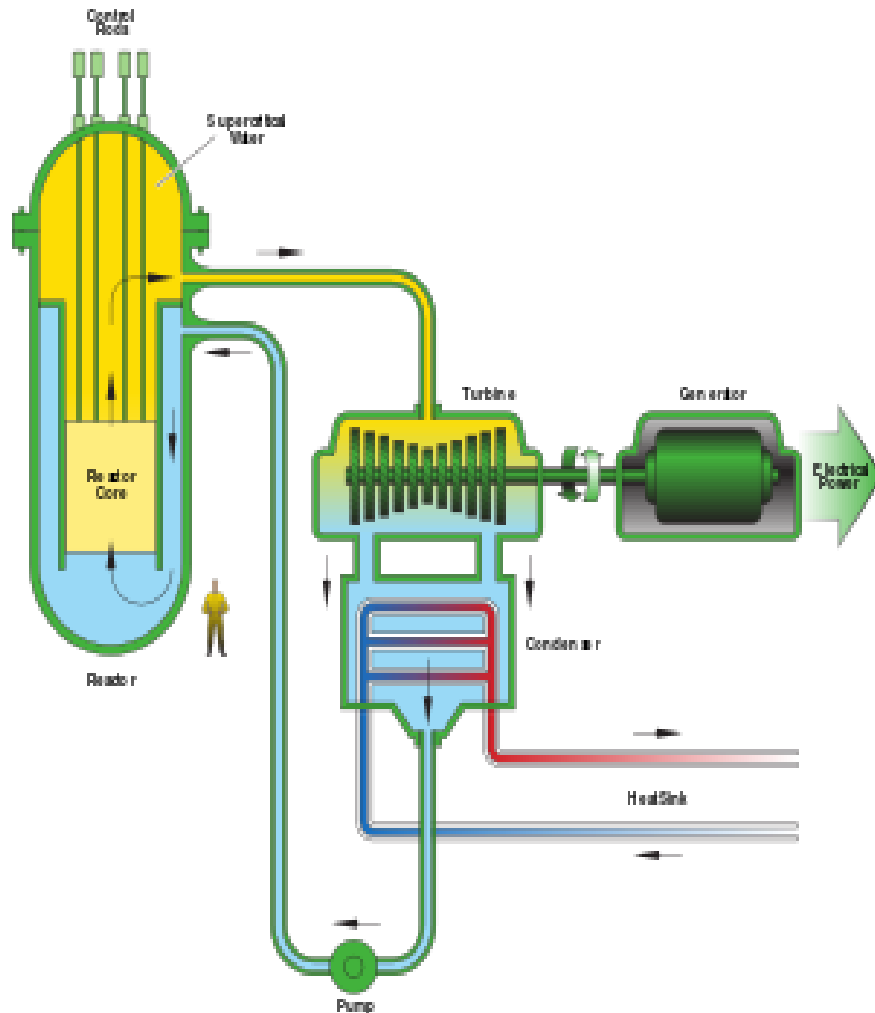
Kopalnia dostawca - Pałęgi



GenIV

- **Reaktory na warunki nadkrytyczne (p , T)**
 - Radioliza wody w wysokich temperaturach i ciśnieniach
 - Starzenie izolacji polimerowej
- **Chłodziwa - Gaz/Stopiony Metal/Stopione sole**
 - Paliwa
 - Materiały
 - Inne ?

Reaktor – warunki chłodzenia nadkrytyczne



Zadanie Badawcze nr 7

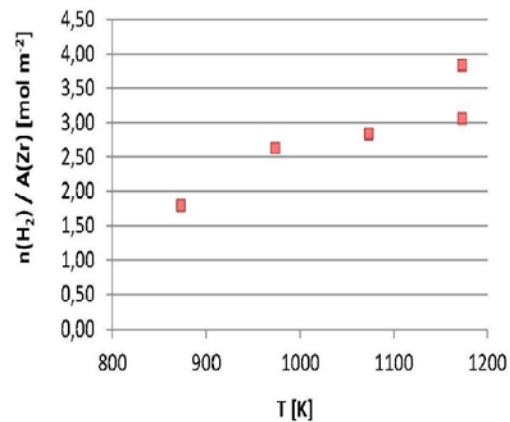
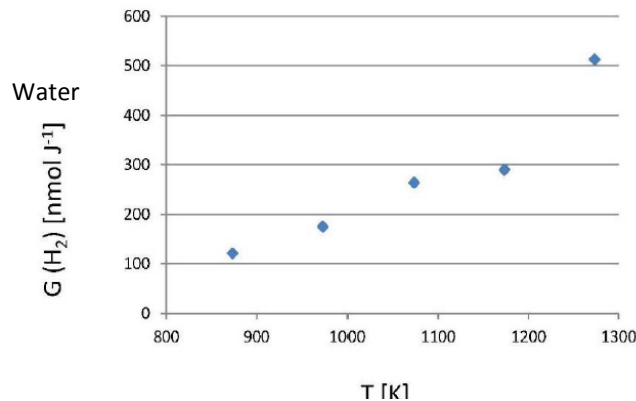
Analiza procesów generacji wodoru w reaktorze jądrowym w trakcie normalnej eksploatacji i w sytuacjach awaryjnych, z propozycjami działań na rzecz podniesienia poziomu bezpieczeństwa jądrowego

Stanowisko z akceleratorem Van de Graaffa do napromieniowań wysokotemperaturowych (piec oporowy Carbolite, 1700°K)

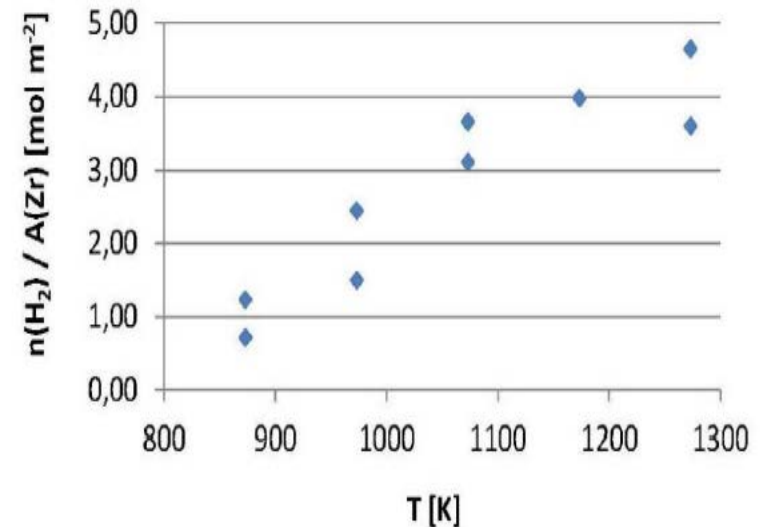


Ilościowe pomiary wydzielonego w procesie radiacyjnym / katalitycznym wodoru z wykorzystaniem chromatografu Shimadzu GC-2010 z detektorem helowo-jonizacyjnym.

Generacja wodoru przy wysokich dawkach (warunki nadkrytyczne (40 -150 MPa))



Ca.200
kGy



Paliwa dla Gen IV

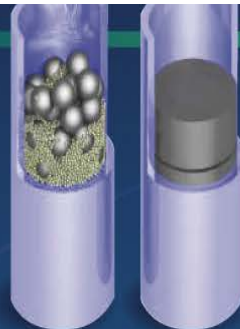
- W obecnie pracujących reaktorach stosowane są głównie dwa typy paliwa- paliwo z nisko wzbogaconym uranem (LEU) i paliwo tlenkowe zawierające zmieszane tlenki uranu i plutonu (MOX)
- Niektóre aktynowce mniejszościowe np. ameryk, mogą być dodane do paliwa U/Pu MOX (domieszkowanie) przed jego załadowaniem do reaktorów na paliwa prędkie.
- Jest to jedna z metod transmutacji pozwalająca na zamknięcie cyklu paliwowego.
- Stały związek po domieszkowaniu jest prekurem paliwa dla GEN IV lub budowy tarczy (transmutacja w ADS).



ASGARD - Advanced fuels for Generation IV reActors: Reprocessing and Dissolution

FP7-Fission-2011

01/01/2012 – 31/12/2015



Consistently with the above mentioned future nuclear research, the ASGARD project's main objective is to provide a structured R&D framework bridging the research on fuel fabrication and reprocessing issues.

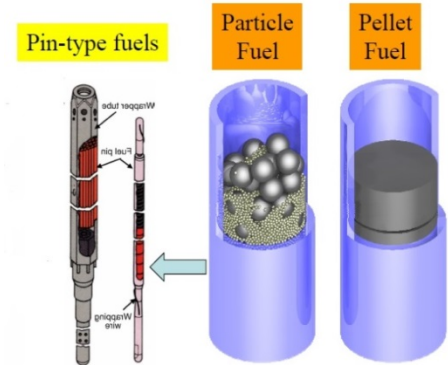
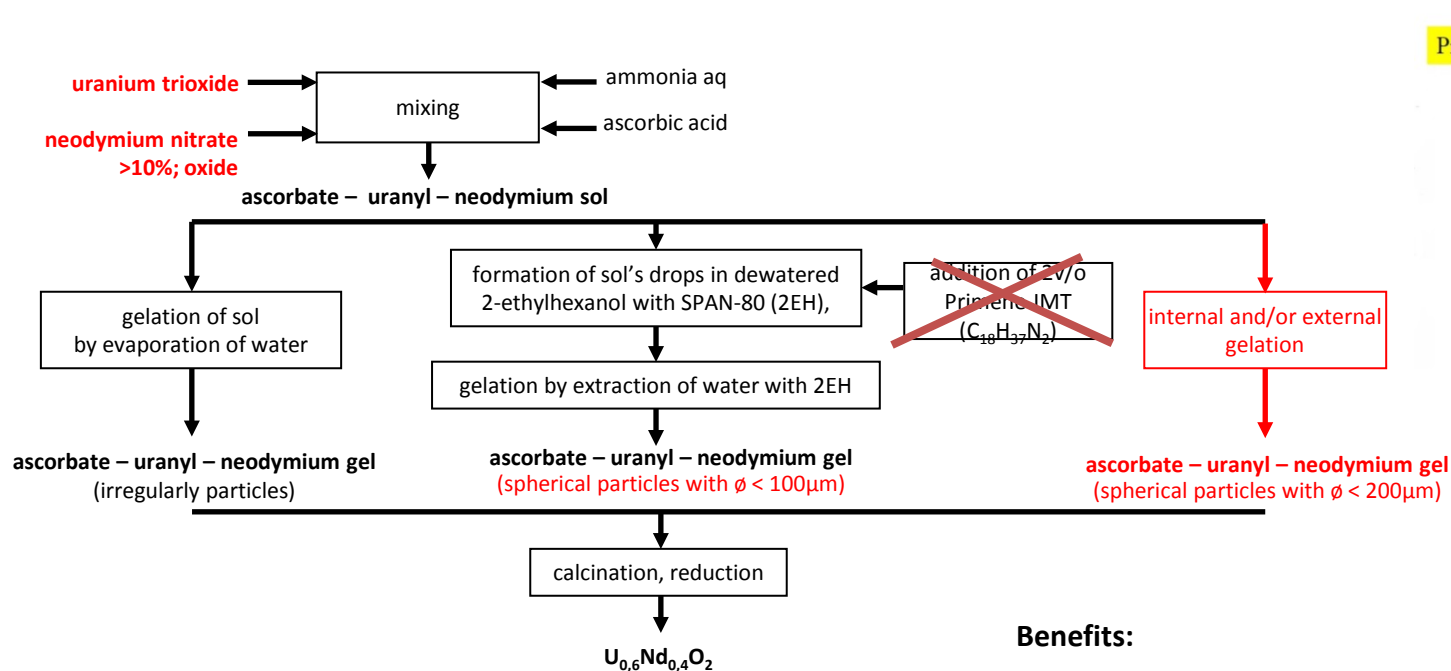
The main focus will lie on future fuels for a sustainable nuclear fuels cycle. The main problem today is to tie the recycling of the nuclear fuel to the fabrication of new fuels. Seen in this context the outline of the work on each of the fuel types will be:

DISSOLUTION
(of irradiated and unirradiated fuel)

CONVERSION

FABRICATION

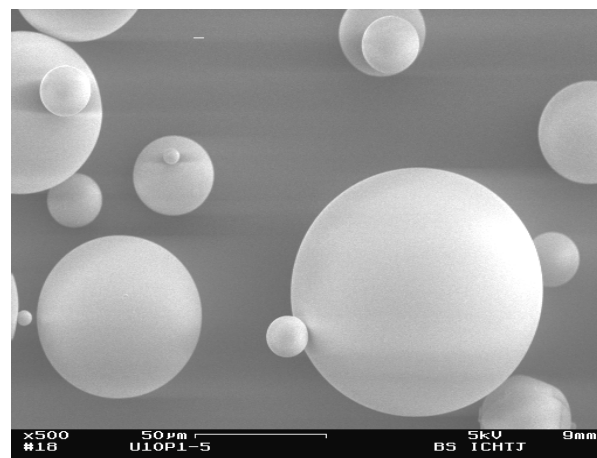
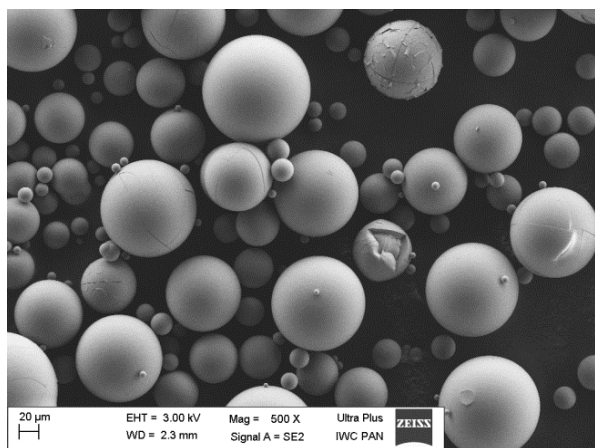
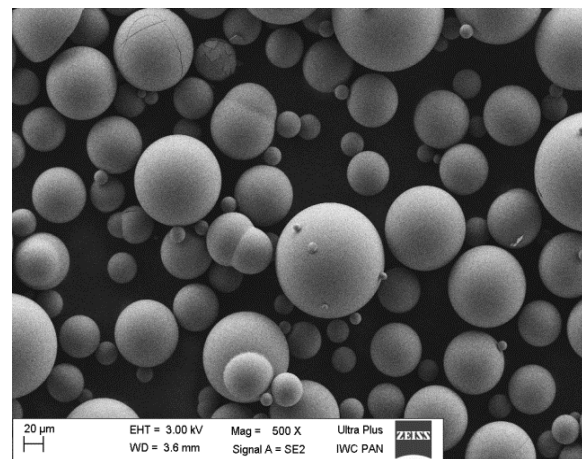
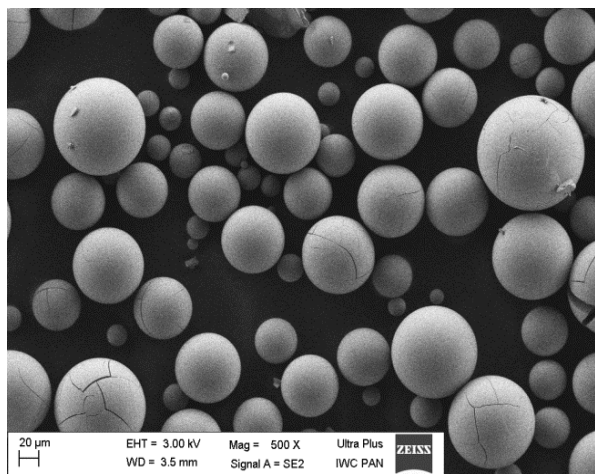
Synthesis of uranium dioxide doped with MA surrogates by Complex Sol-Gel Process (CSGP)



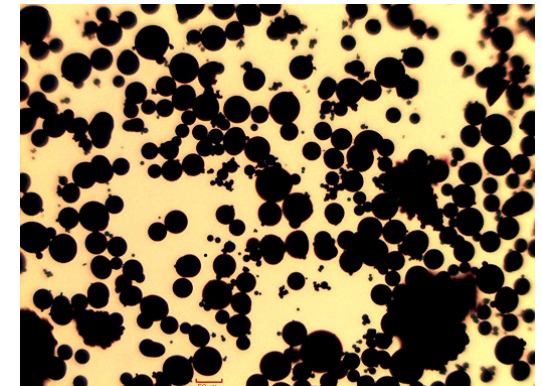
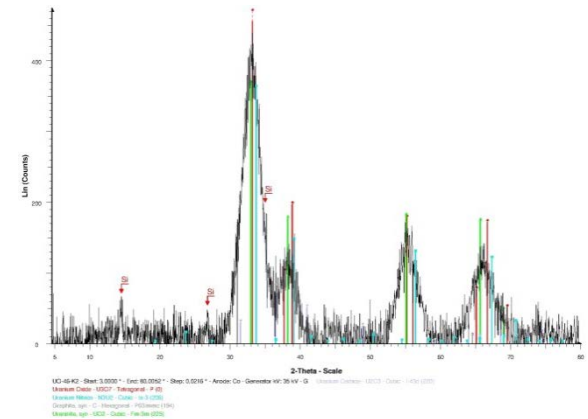
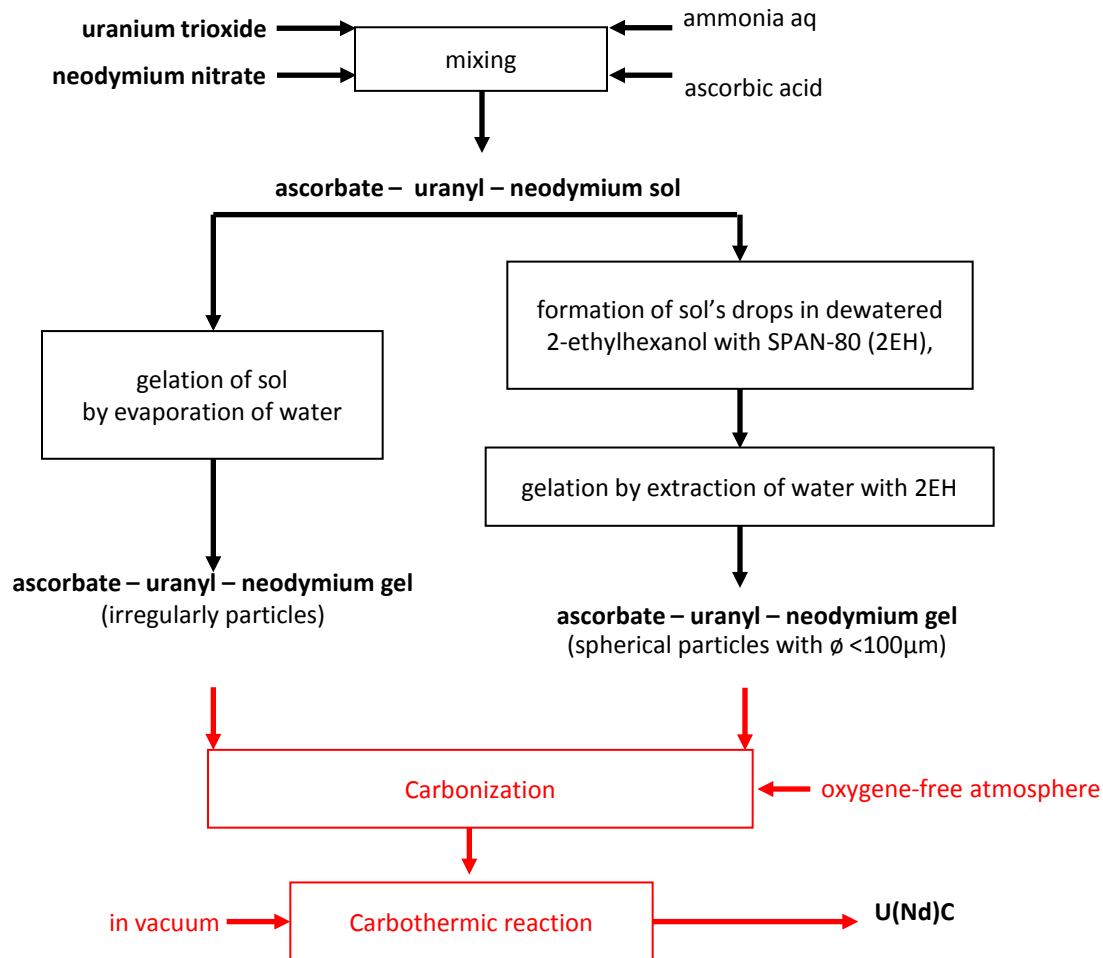
Benefits:

- optimization and automatization of elaborated method,
- increasing of content of surrogate of americium (III)
- elaborated of new methods of gelation to fabrication of kernels (ø>200µm)
- applying of the same methods for preparation of uranium carbides

Zdjęcia SEM (powiększenie 500x) (a) 10% Nd, (b) 20% Nd, (c) 30% Nd, (d) 40% Nd.

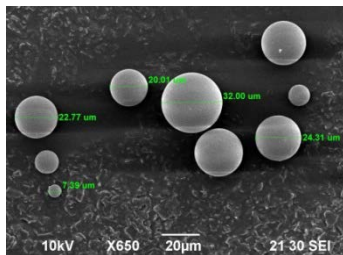
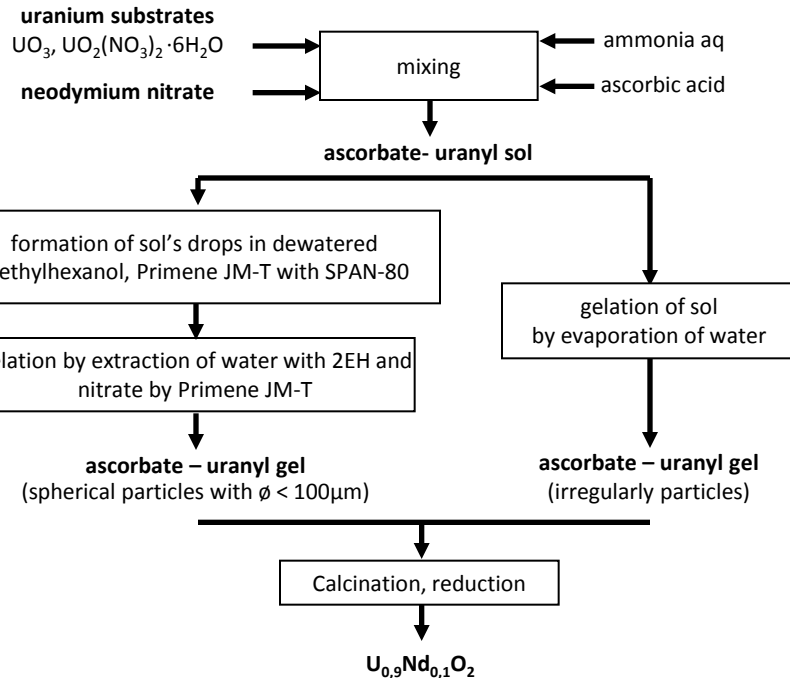


Synthesis of uranium carbides by Complex Sol-Gel Process (CSGP)

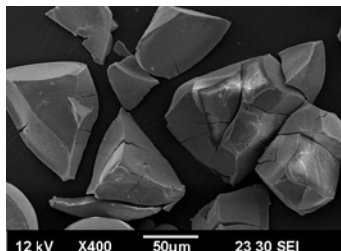


Project ACSEPT

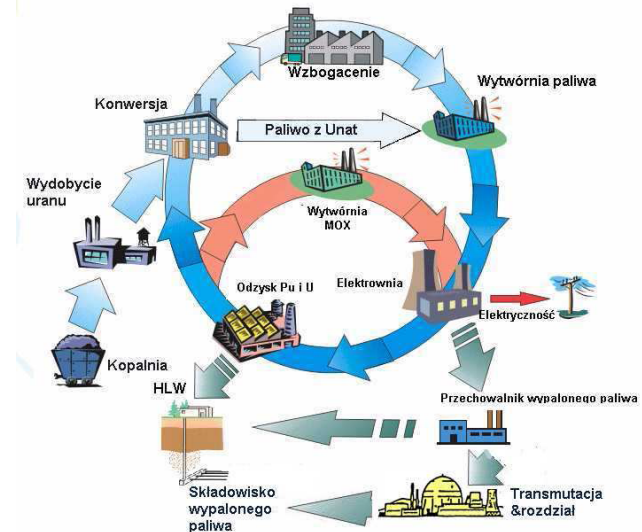
Actinide reCYcling by SEParation and Transmutation,
no. FP7-CP-2007-211267, 2008-2012



spherical particles of UO_2



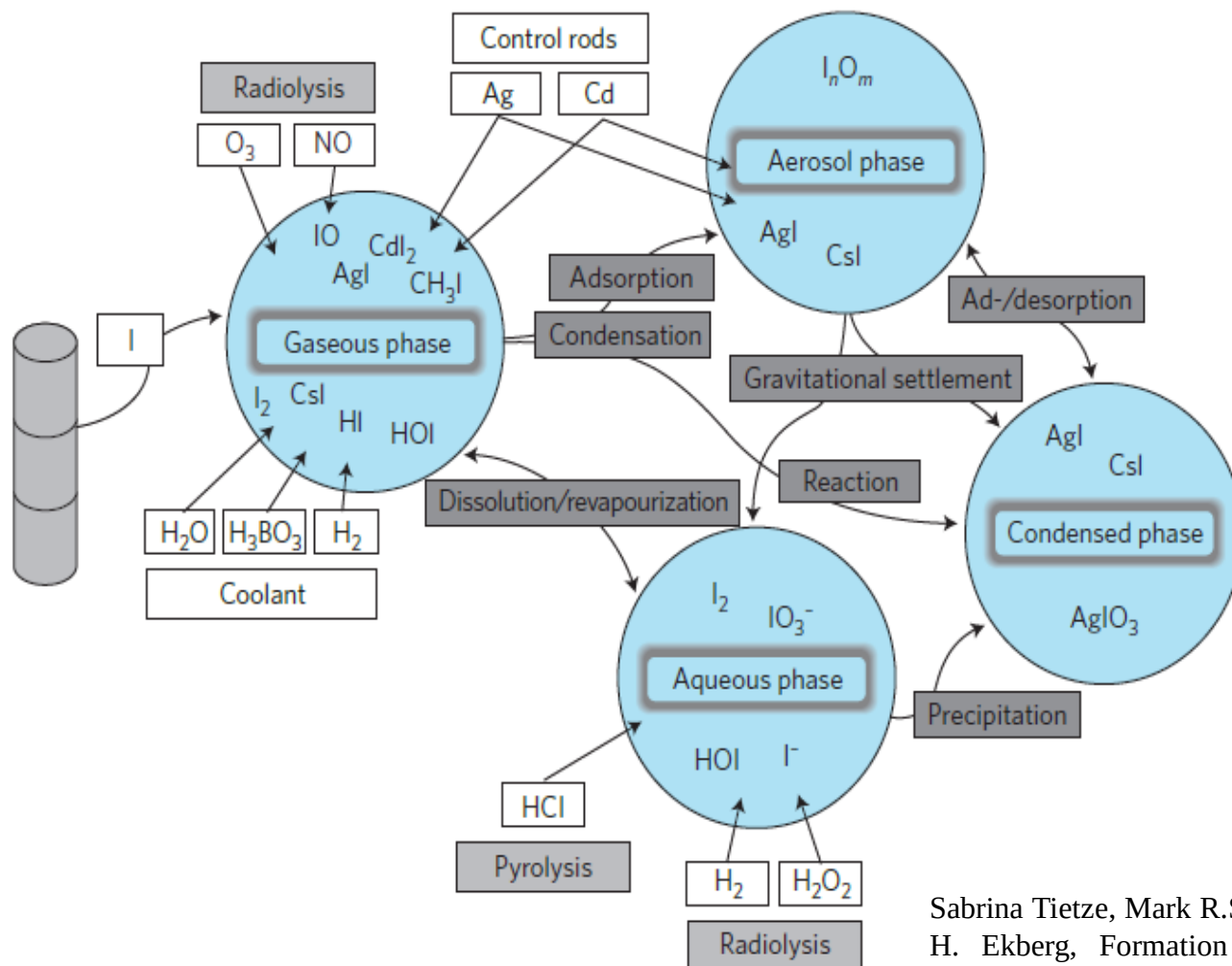
irregular particles of UO_2



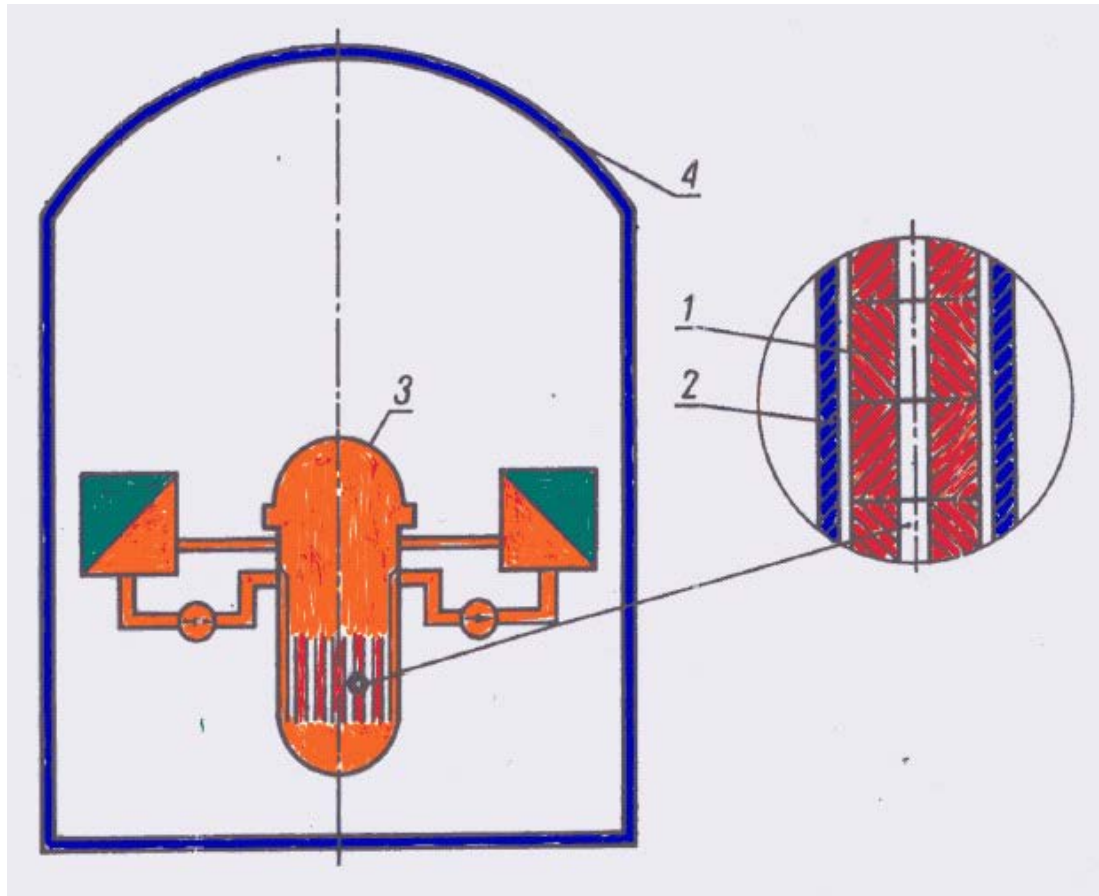
Benefits:

- elaborated of universal method of synthesis of spherical particles ($\phi < 100\mu\text{m}$) uranium dioxide doped with 10_{mol}% of surrogates of americum (III) by connection of ICHTJ methods,
- dopants of surrogates does not form any separate structure,
- stable structure of spherical precursors for future nuclear fuel $\text{U}_{1-x}(\text{MAX})\text{O}_2$ (MA – minor actinide),
- efficiency of methods – approx. 99,5%,
- continuation ...

Procesy fizyczne i chemiczne zachodzące w sytuacjach awaryjnych



Układ wielu barier - bezpieczeństwo zachowane w razie utraty dwóch, a nawet trzech z nich.



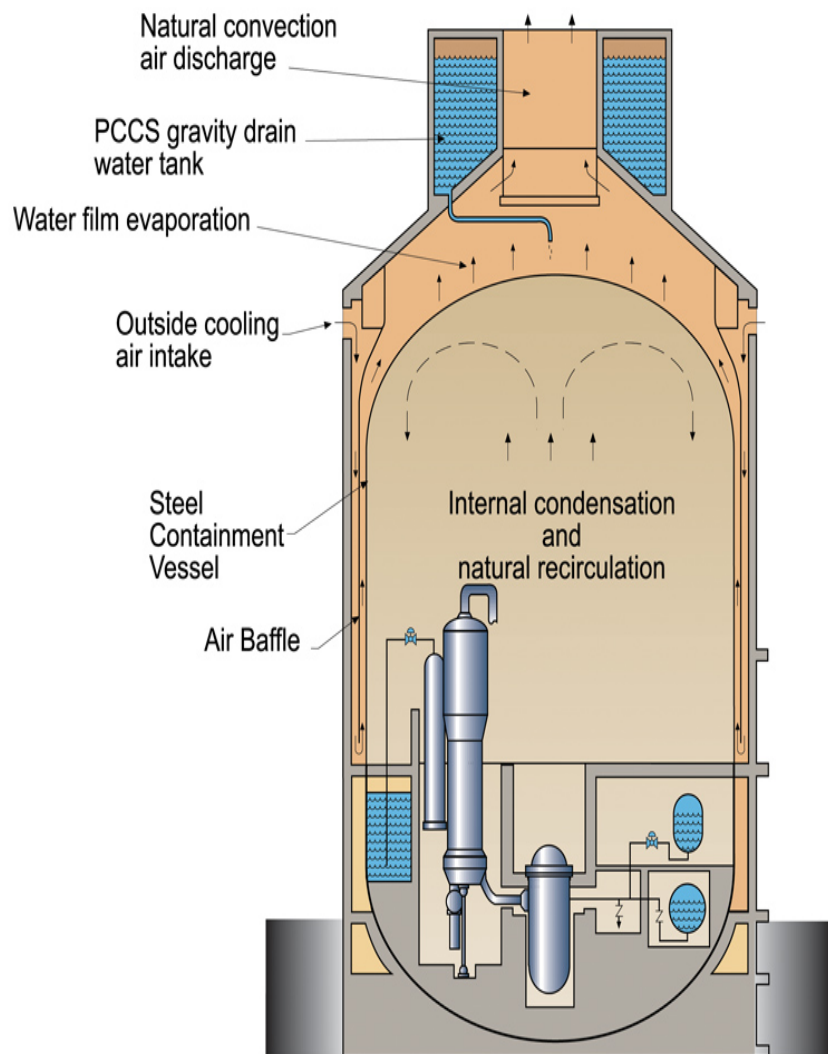
Układ barier w EJ:

1. Pastyłki paliwowe,
2. Koszulka cyrkonowa,
3. Zbiornik reaktora,
4. Obudowa bezpieczeństwa

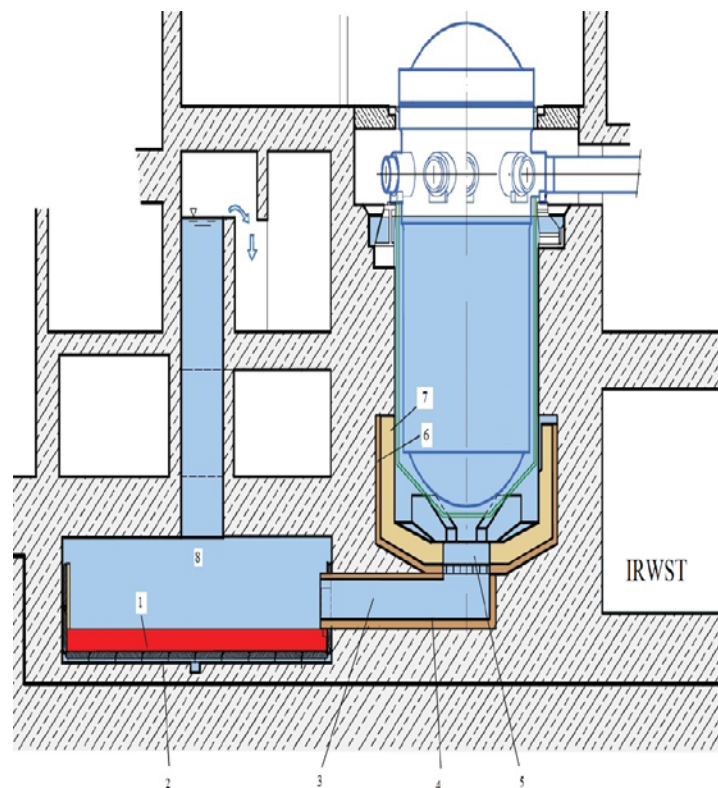
Awaria ze stopieniem rdzenia zdarzyła się w reaktorze PWR w TMI (USA). Utracono bariery 1 i 2, ale zbiornik reaktora (bariera 3) – i obudowa bezpieczeństwa (bariera 4) pozostały szczelne

Awaria w TMI nie spowodowała żadnych szkód zdrowotnych

GEN III & III+ (nowe zabezpieczenia)



AP1000 Passive Containment Cooling System



Układ chwytnicy stopionego rdzenia elektrowni jądrowej wyposażonej w reaktor EPR; 1 – stopiony rdzeń, 2 – konstrukcja chłodząca, 3 – tunel przelewowy rdzenia, 4 – warstwa ochronna, 5 – przetapialna przepona stalowa, 6 – ogniotrwała warstwa ochronna, 7 – beton protektorowy, 8 – chwytnicz rdzenia

“Centre for Radiochemistry and Nuclear Chemistry - meeting the needs of nuclear power and nuclear medicine”



Laboratoria radiochemiczne

