

Energetyka jądrowa
w Polsce?

Tak, ale jak?

Ludwik Pieńkowski

Środowiskowe Laboratorium

Ciężkich Jonów

Uniwersytet Warszawski

Czy w Polsce brakuje energii elektrycznej?

- Elektrownie węglowe zaspokajają nasze potrzeby
- Powszechna jest wiedza o dużych zasobach węgla
- Energetyka jądrowa jest przewidywana po roku 2020 „ze względu na potrzebę dywersyfikacji nośników energii pierwotnej oraz konieczność ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i dwutlenku siarki do atmosfery”

Rozwój Polski nie wymaga pilnej budowy elektrowni jądrowej

Elektryczności wystarcza, ale co z gazem i ropą?

W powszechnym odczuciu:

- Polska nie ma pewnych i stabilnych dostaw gazu i ropy
- Sądzi się, że węgiel może zastępować gaz i ropę
- Istnieje pogląd, że reaktory jądrowe mogą być wykorzystane jedynie w elektrowniach. Jest on prawdziwy jedynie w odniesieniu do obecnie pracujących reaktorów energetycznych

Rozwój Polski wymaga pewności i stabilności
zaopatrzenia w paliwa płynne i gazowe

Energia - Nauka - Przyszłość

- Polska ma duże zasoby węgla, a jednak nie jest wolna od kłopotów energetycznych
- Duża elektrownia jądrowa będzie konkurencją dla dużej, ekologicznej i ekonomicznej elektrowni węglowej, zagrażając rentowności górnictwa węgla
- Celem uniknięcia konfliktu społecznego modyfikacja systemu energetycznego powinna uwzględnić zasoby węgla: dać technologiczną szansę dla węgla, albo dać szansę innej pracy dla górników

Potrzebne są nowe technologie, w tym reaktory jądrowe IV generacji

Energetyka jądrowa w Polsce?

Tak, ale po co?

Reaktory jądrowe IV generacji są warte zainteresowania w Polsce już dziś, gdyż:

- Są alternatywą dla węgla, ropy i gazu, a nie jedynie dla węgla
- W sprzężeniu z innymi nowoczesnymi technologiami oferują nowe możliwości, również dla węgla

Wysokotemperaturowy reaktor dla Polski

- Hel chłodzący reaktor osiąga temperaturę 900 °C
- Moc cieplna reaktora nie przekracza kilkuset MW

Reaktor wysokotemperaturowy do produkcji wodoru

W temperaturze 900 °C wodór można wydajnie i bez emisji CO₂ produkować w procesach pośrednich (na przykład w cyklu siarkowym) z wody:

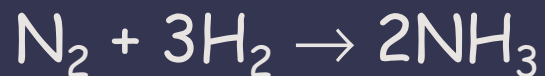


Ile wodoru produkuje się dziś, w jaki sposób i po co?

- W 2004 r światowa produkcja wyniosła ponad 50 milionów ton. Jego spalanie wydzieliłoby moc 200 GW
- 95% wodoru wytwarza się z gazu ziemnego
- 50% stosuje się do produkcji nawozów sztucznych
- 40% wykorzystują rafinerie ropy naftowej
- 97% wodoru produkuje się w pobliżu miejsca wykorzystania
- Roczny przyrost światowej produkcji wodoru wynosi 10%

Wodór w Polsce dziś: zakłady azotowe

Fabryki nawozów sztucznych zużywają ponad 2 miliardy Nm³ gazu ziemnego do produkcji wodoru i syntezy amoniaku:



Reaktor wysokotemperaturowy w zakładach azotowych zmniejszyłby roczne zużycie gazu ziemnego nawet o kilkaset milionów Nm³

Wodór w Polsce dziś: rafinerie ropy naftowej

Instalacja do produkcji wodoru w rafinerii płockiej ma wydajność 100 tysięcy Nm³ na godzinę, co umożliwia produkcję 80 tysięcy ton wodoru rocznie. Wodór ten rafineria zużywa w procesach takich jak hydrokraking do produkcji lekkich węglowodorów z ciężkich frakcji rafinacji ropy.

Reaktor wysokotemperaturowy zastosowany w rafinerii zwiększyłby jej roczną produkcję handlowych paliw płynnych nawet o kilkaset tysięcy ton (i/lub zmniejszyłby zużycie gazu)

Wodór – paliwo przyszłości

Wodór jest postrzegany jako paliwo przyszłości, ale stanie się nim dopiero, gdy zostaną opracowane:

- Wydajne, tanie i czyste technologie produkcji wodoru
- Systemy magazynowania wodoru
- Ogniwa paliwowe, które z wodoru i tlenu w wydajny sposób będą wytwarzać elektryczność

Ciepło z reaktora do przerobu węgla na paliwa gazowe i płynne

Pierwszym etapem produkcji benzyny syntetycznej jest gazyfikacja węgla:



W kolejnych etapach gaz syntezowy oczyszcza się z CO_2 i prowadzi się syntezę wodoru z tlenkiem węgla:



Technologia znana od lat, ale droga i uciążliwa dla otoczenia. Trzeba spalić kilka ton węgla, aby jedną tonę węgla przerobić na benzynę. Ciepło z reaktora wysokotemperaturowego umożliwi przerobienie nawet kilkuset tysięcy ton węgla rocznie na paliwa płynne i proces ten będzie mało uciążliwy dla środowiska

Reaktor wysokotemperaturowy w małej wydajnej elektrowni

- Dzięki wysokiej temperaturze, $T = 900\text{ C}$, wydajność zamiany ciepła na elektryczność wynosi 45%
- Wydajność elektrowni węglowych nie przekracza 40%, a współczesnych elektrowni jądrowych 35%
- Możliwość budowy małej, wydajnej i ekologicznej elektrowni węglowej jest wątpliwa

Mała, wydajna elektrownia jądrowa będzie konkurencją dla elektrowni gazowej, a nie dla dużej elektrowni węglowej

Reaktor wysokotemperaturowy w centrum przemysłowym



Wodór



Ciepło
technologiczne
 $T = 900\text{ C}$



Elektryczność

A może zrezygnować z energii jądrowej i wykorzystać energię odnawialną?

Polska ma największe rezerwy energii odnawialnej w rolnictwie, w produkcji biopaliw:

- Uprawa rzepaku daje: 3,5 tony ziarna z hektara, z których można uzyskać 1,5 tony oleju, surowca do produkcji 1,2 tony biodiesla
- Jeśli biodiesel ma być istotny w bilansie paliw, to rzepak należy uprawiać na kilkuset tysiącach hektarów, a każdy hektar nawozić ponad pół toną nawozów sztucznych
- Nawożenie stanowi ponad 40% kosztów uprawy

Opłacalność produkcji biodiesla zależy od ceny nawozów sztucznych, w tym amonowych, a ta wyznaczana jest ceną wodoru

Czy reaktor wysokotemperaturowy jest bezpieczny?

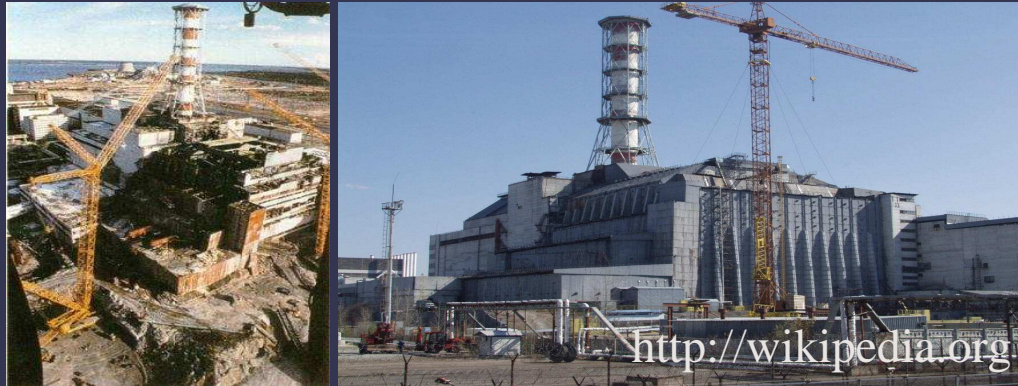
Za parę miesięcy minie 20-ta rocznica awarii w Czarnobylu i od tylu lat każda dyskusja o bezpieczeństwie energii jądrowej musi mieć odniesienie do tamtej katastrofy

Co takiego stało się w Czarnobylu, co spowodowało powszechne zaniepokojenie w miejscach odległych nawet o kilkaset kilometrów od Czarnobyla?

Zagrożenia globalne i lokalne

- Zagrożenie globalne ma swoje źródło w jakimś odległym przestrzennie, czy też czasowo procesie, na który ludzie odczuwający lęk nie mają wpływu i z którego nie czerpią korzyści. W globalizującym się świecie zagrożeń takich jest coraz więcej i nie są one akceptowane społecznie, nawet jeśli eksperci przekonują, że ich poziom jest „w granicach rozsądku”
- Zagrożenie lokalne towarzyszy każdej działalności człowieka dostarczającej mu korzyści. Jeśli poziom zagrożenia jest „w granicach rozsądku”, to takie zagrożenie jest akceptowane społecznie

Czy z reaktora w Czernobylu wydostało się cokolwiek, co mogło wywołać uzasadnione zaniepokojenie w Polsce?



Około 5% dzieci otrzymało dawkę na tarczycę 200 mSv.
W badaniach diagnostycznych dawka wynosi 1000 mSv
i badania takie przeprowadza się u 4000 dzieci rocznie

Jedynie emisja ^{131}I była na tyle duża, że mogła wywołać uzasadnione globalne zaniepokojenie

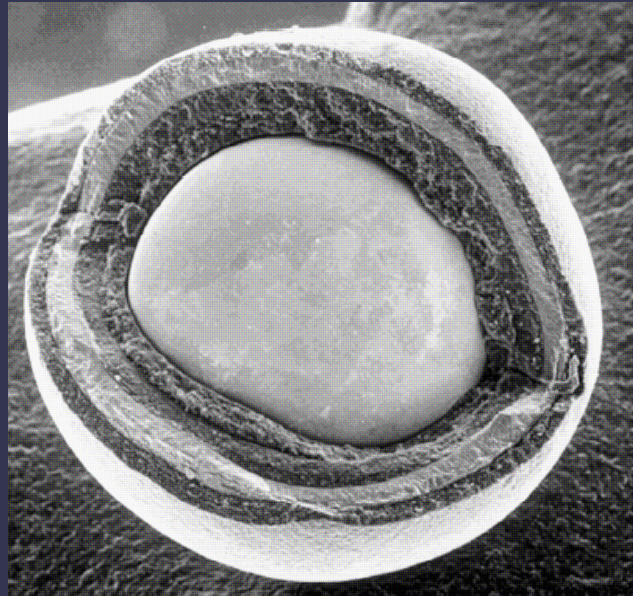
Czy reaktor wysokotemperaturowy może ulec awarii podobnej do awarii czarnobylskiej?

Najpoważniejsze możliwe awarie to:

- Ucieczka chłodziwa, w tym przypadku helu. Reaktor jest na tyle mały, że schłodzi się sam i rdzeń ani się nie stopi, ani nie zapali
- Wdarciu się dużej ilości wody do rdzenia reaktora jest wykluczone, bo reaktor chłodzony jest helem, a nie wodą

Zniszczenie rdzenia reaktora w wyniku awarii jest wyjątkowo mało prawdopodobne

A jakie będą skutki globalne zniszczenia reaktora, na przykład w wyniku działań wojennych?



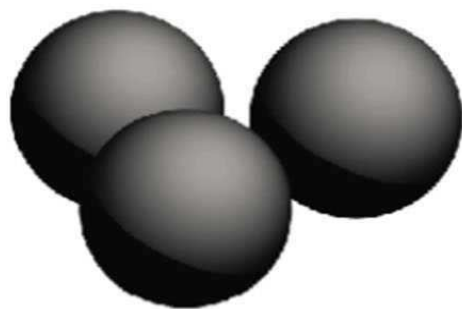
1 mm

Kluczem do obietnicy bezpieczeństwa globalnego jest umieszczenie uranu w niemal niezniszczalnych mikrokapsułkach (TRISO)

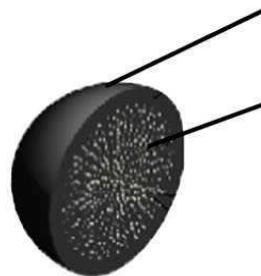
W dużych odległościach od reaktora nie wystąpi stan zagrożenia, bo ze zniszczonego reaktora nie wydostanie się znaczna ilość gazowego ^{131}I

Elementy paliwowe reaktora wysokotemperaturowego

Element paliwowy reaktora



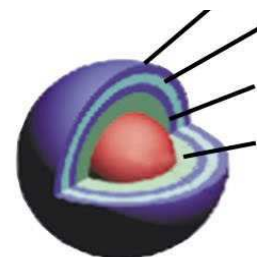
kule z uranem
($\Phi = 6 \text{ cm}$)



przekrój kuli

powłoka węglowa (5mm)

cząstki z uranem osadzone w
węglu



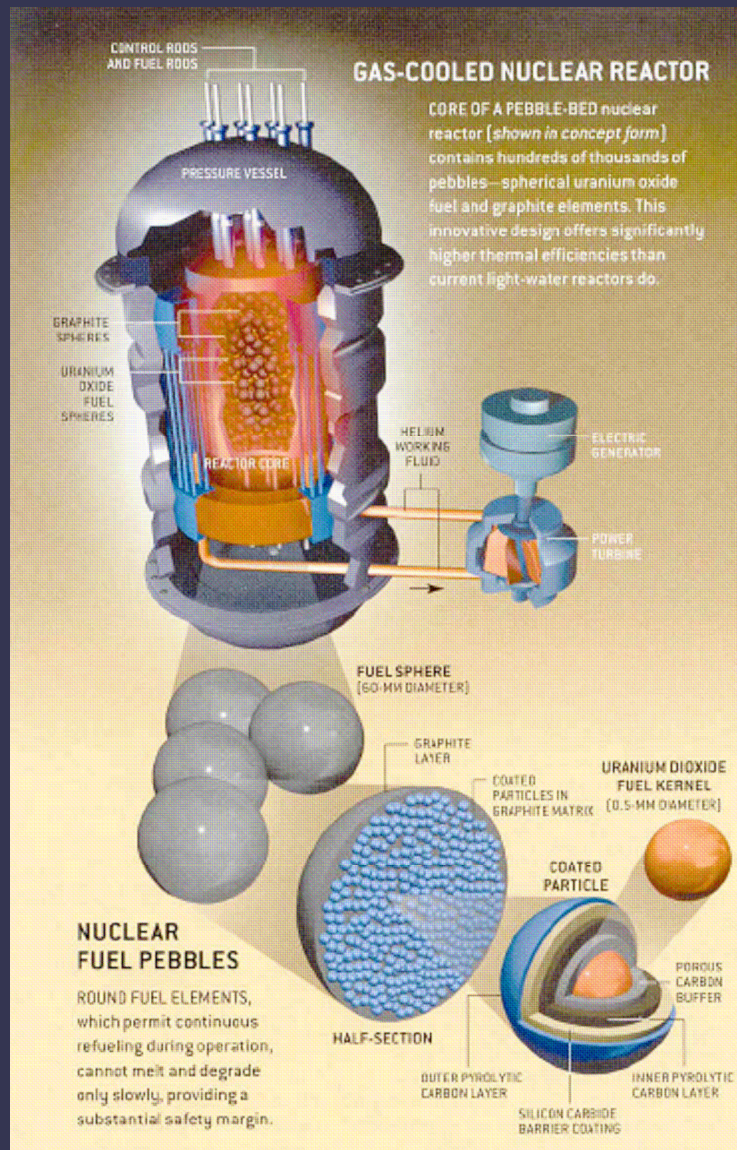
kilka różnych warstw
ochronnych z węgla i
węglika krzemu

cząstki z uranem w
osłonach ($\Phi \approx 1 \text{ mm}$)

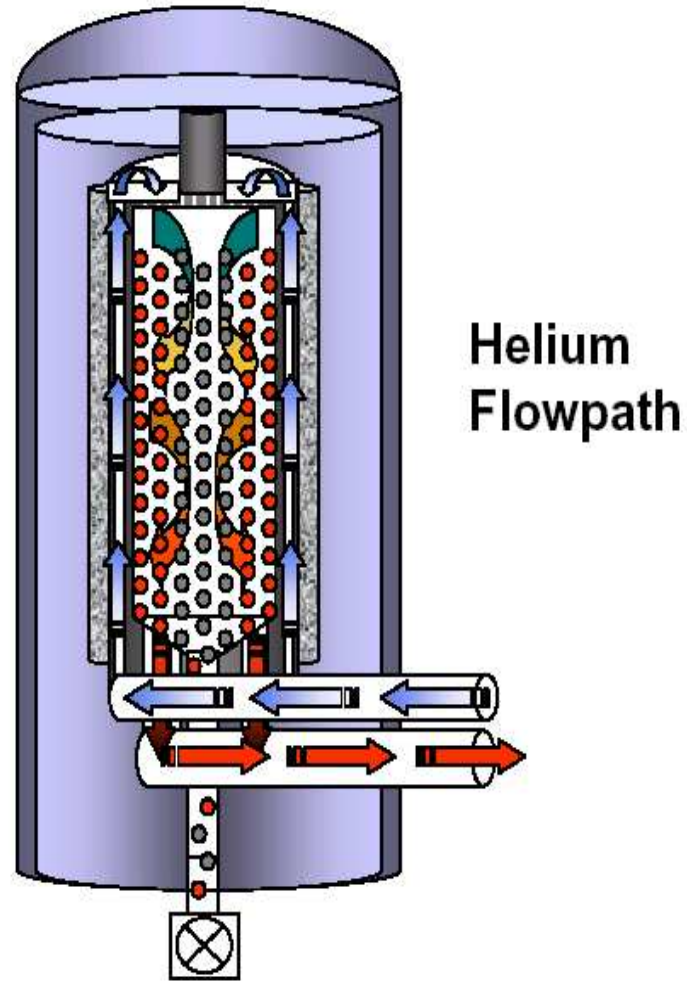


kuleczki z dwutlenku
uranu ($\Phi = 0,5 \text{ mm}$)

Reaktor wysokotemperaturowy

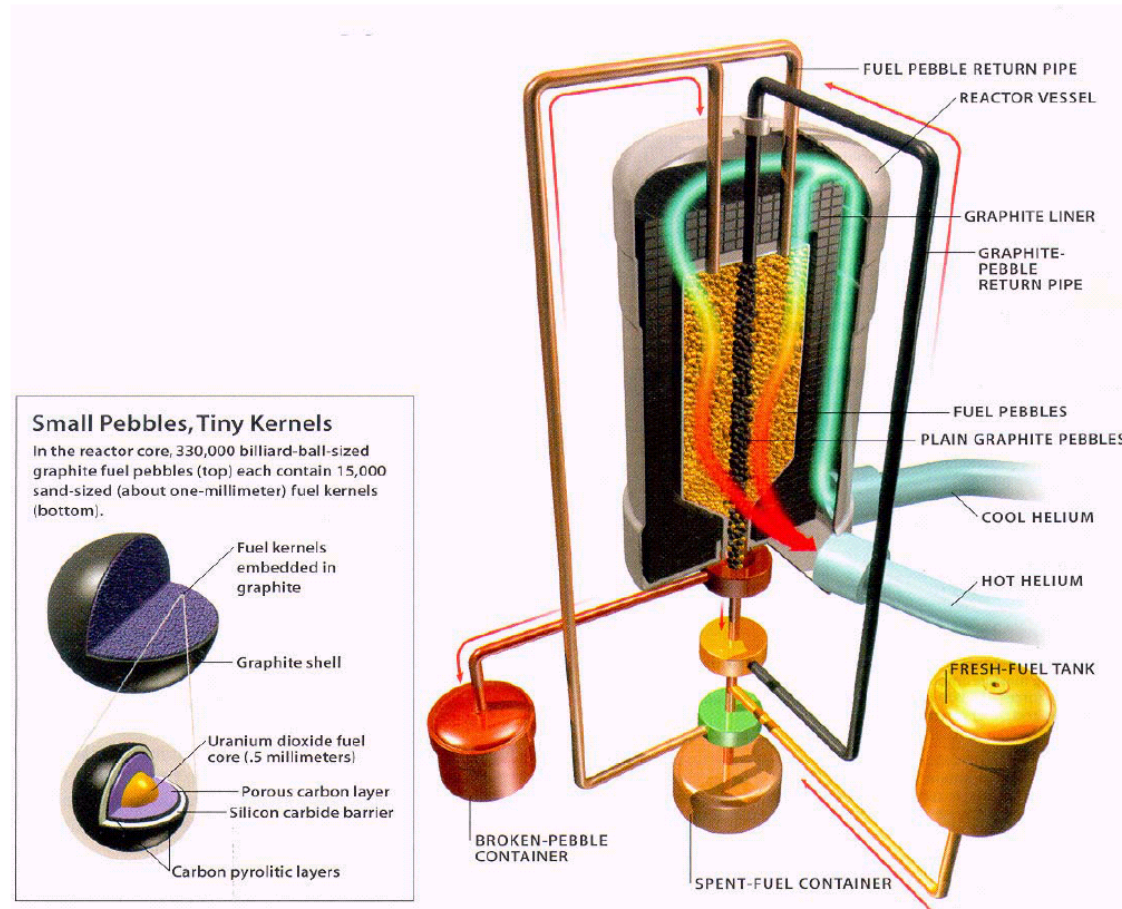


Reactor Unit



Reaktor wysokotemperaturowy

Pebble Bed Reactor and TRISO Fuel



A co z wypalonym paliwem?

Wypalone paliwo wywołuje globalny lęk ze względu na olbrzymi okres czasu, w którym może być niebezpieczne

- Reaktor spala kilkadziesiąt ton paliwa rocznie
- Składowanie wypalonego paliwa przewiduje się w pobliżu reaktora przez 50 lat jego pracy i przez kolejne 50 lat lub więcej po zamknięciu reaktora
- Miejsce składowania nie wymaga wymuszonego chłodzenia
- Paliwo od samego początku jest zapakowane w szczelne i niemal niezniszczalne mikrokapsułki
- Nie przewiduje się przerobu wypalonego paliwa celem odzyskiwania materiałów rozszczepialnych. Paliwo wypala się co najmniej 3 razy lepiej niż w reaktorach chłodzonych wodą

A co z zagrożeniami lokalnymi w pobliżu reaktora?

Trudno omawiać lokalne zagrożenia bez prezentacji korzyści, jakie przyniesie życie i praca w pobliżu reaktora

- Zagrożenia są dużo mniejsze niż powszechnie się sądzi, ale:
- Świadomość pracy w strefie zagrożenia wywołuje lęk
- Świadomość mieszkania w pobliżu strefy zagrożenia też wywołuje lęk
- Korzyści wynikają z rozwoju lokalnej infrastruktury
- Powstanie miejsc pracy związanych z wykorzystaniem wodoru, ciepła technologicznego
- Wykorzystanie ciepła odpadowego

Gdzie i kiedy można kupić reaktor wysokotemperaturowy?



Republika Południowej Afryki ma najbardziej zaawansowany program budowy:

- 2007 rozpoczęcie budowy instalacji pilotującej
- 2011 jej uruchomienie
- 2013 początek eksploatacji instalacji przemysłowych
- 2015 produkcja reaktorów na sprzedaż

Programy badawcze reaktorów wysokotemperaturowych

- Generation IV International Forum (GIF), założone przez USA. Polska nie należy do GIF bezpośrednio, a jedynie pośrednio przez członkostwo w UE, ponieważ EURATOM jest członkiem GIF
- Prezydent USA podpisał 8 sierpnia 2005 r. Energy Policy Act przeznaczający ponad miliard USD w ciągu najbliższych lat na prace nad nuklearną fabryką wodoru z reaktorem IV generacji
- W Chinach i Japonii działają doświadczalne reaktory wysokotemperaturowe
- Prezydent Francji ogłosił 5 stycznia 2006 r., że Francja rozpocznie eksploatację reaktorów IV generacji przed rokiem 2020

<http://gen-iv.ne.doe.gov/>

<http://gif.inel.gov>

<http://nuclear.gov>

Historia reaktorów wysokotemperaturowych



AVR (15 MWe)
1966 -1988



Hann-Uentrop (300 MWe)
1985-1986



Peach Bottom (40 MWe)
1967-1974

Fort St. Vrain (330 MWe)
1979 -1989

Reaktory doświadczalne pracowały dobrze,
ale dwie próby wprowadzenia ich do
energetyki (w Niemczech i w USA)
zakończyły się niepowodzeniem

Reaktor wysokotemperaturowy w Polsce? Tak, ale jak?

- Informacja dla Rządu. Wieloletni plan energetyczny powinien zawierać stanowisko Rządu wobec rozwijających się technologii
- Program „Energia - Nauka - Przyszłość”. Problemy energetyczne są wyzwaniem ogólnospołecznym, wykraczającym poza sferę techniczną i ekonomiczną
- Informacja dla potencjalnych inwestorów, którzy wspólnie z instytucjami naukowymi, agendami rządowymi i europejskimi wytyczą szczegółowy program