

### 3 Uzyskiwanie danych doświadczalnych

Dane doświadczalne są niezbędne, żeby móc udoskonalać i kontrolować kody do obliczeń pól neutronów i wydajności reakcji jądrowych a co jest z tym związane, należy doskonalić metody detekcji tychże pól. Z tych, między innymi, powodów powołano międzynarodową grupę do przeprowadzenia serii eksperymentów pod nazwą „Energia plus Transmutacja” [15]. W dalszych rozdziałach opisano wszystkie zagadnienia związane z tymi badaniami, zaczynając od celów badań i budowy zestawu eksperymentalnego, poprzez używane techniki pomiarowe, i kończąc na sposobie pomiaru i obróbki uzyskanych wyników.

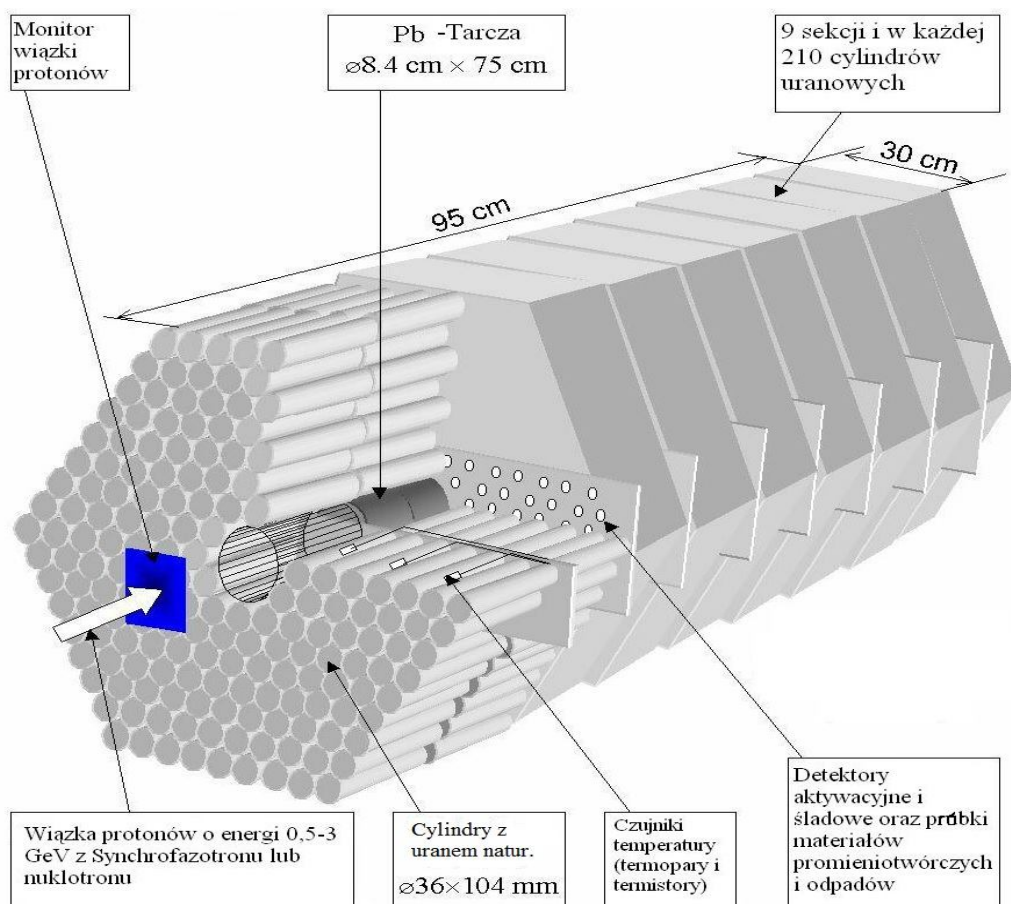
#### 3.1 Zestaw badawczy „Energia Plus Transmutacja” [16], [17]

Nazwa projektu opisuje główne jego cele. Badania początkowo miały skupić się na dwu zagadnieniach. Pierwszy to pomiar wydzielania energii w zestawach podkrytycznych (badanie bilansu energetycznego) jako wstęp do bardziej zaawansowanych eksperymentów zmierzających do budowy przyszłych ADS-ów, czyli reaktorów sterowanych akceleratorem [2], [18]. Drugi, to szeroko rozumiane badania nad możliwością transmutacji odpadów promieniotwórczych.[3], [4] W skład drugiego zagadnienia wchodziło, oprócz badania wydajności transmutacji konkretnych izotopów, określenie kosztów energetycznych produkcji neutronów, testowanie i usprawnianie metod pomiaru pól neutronów, wyznaczenie przekrojów czynnych dla wykorzystywanych reakcji lub sprawdzenie ich wartości, poprawa kodów komputerowych służących do wyznaczania pól neutronów i parametrów transmutacji w tego typu obiektach.

W tym celu trzeba było zbudować zestaw eksperymentalny (obiekt na którym byłyby wykonywane eksperymenty), który symulowałby, w pewnym zakresie, warunki panujące w rdzeniach przyszłych reaktorów sterowanych akceleratorem. Większość podobnych eksperymentów polegała na ostrzale hadronami z akceleratora rdzenia zbudowanego z różnych materiałów (najczęściej ołowiu). Niestety takie modele pozwalały na realną symulację pola neutronów tylko w tarczy przyszłych instalacji, czyli pomiary pola pochodzącego głównie od neutronów pierwotnych stowarzyszonych z samą wiązką – pola te są znacznie prostsze od tych występujących w rzeczywistości. W celu zmniejszenia energii neutronów, w takich eksperymentach, stosowane były specjalne moderatory (np. parafina). Nam potrzebna była możliwość badania bardziej złożonych pól neutronów. Zdecydowano się obudować ołowiany rdzeń otoczką z uranu naturalnego. Dzięki temu powstawało dodatkowe pole wtórnych neutronów, które były generowane w uranie w stosunkowo dużej objętości. Projekt zestawu musiał przewidzieć możliwość umieszczenia detektorów w różnych odległościach od czoła zestawu oraz w różnych odległościach od osi (pozycje radialne), jak również wokół tego zestawu.

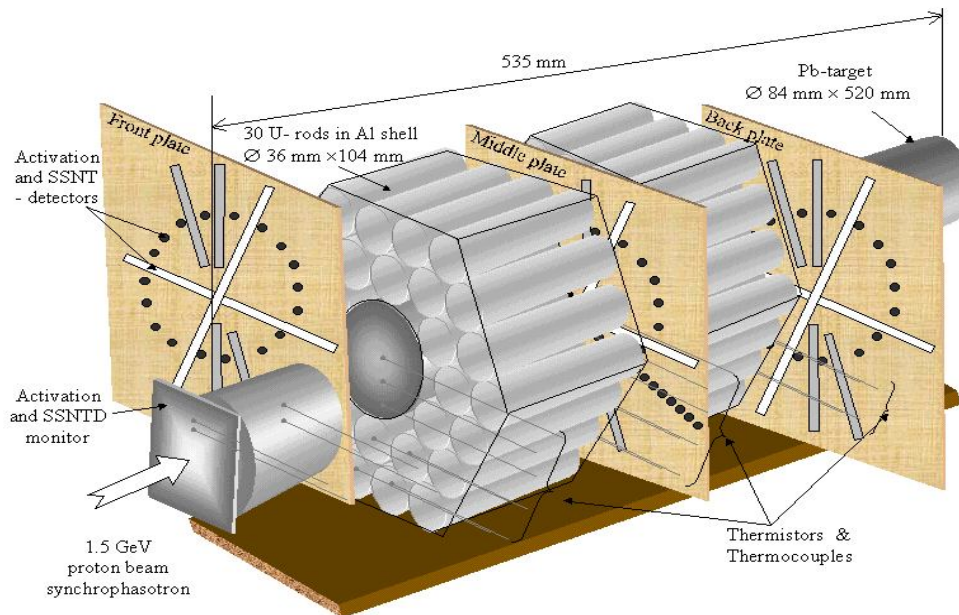
Pierwszy projekt zakładał budowę olbrzymiego zestawu o długości ok. 1m, wysokości ok. 0,5m, podzielonego na 9 sekcji (pomiędzy sekcjami przewidziano szczeliny do umieszczenia detektorów) (Rys. 3.1). Każda sekcja zawierałaby 210 uranowych cylindrów w otoczce aluminiowej (średnica 36 mm, długość 104 mm) [16]. Tak wielki zestaw miałby na tyle wielką masę, że nie byłoby możliwości go przemieszczać. Zakładano budowę stałego stanowiska eksperymentalnego w hali pomiarowej obok akceleratora. Z kilku przyczyn, z których główna to fakt, że eksperymenty na stanowiskach pomiarowych w tej hali przestały się czasowo odbywać oraz zwykłych kłopotów związanych z konstrukcją tak dużego zestawu, zdecydowano się na kilkietapowe dochodzenie do wymiarów finalnych, czyli budowę na

początku mniejszych zestawów, które można by umieszczać bezpośrednio przed drogą wiązki (wyjściem wiązki z akceleratora), a po eksperymencie zabierać do przechowalni.



Rys. 3.1 Pierwotny projekt wielkiego modelu „Energia plus Transmutacja” [16].

W 1999 roku zbudowano pierwszy zestaw złożony tylko z dwóch sekcji (Rys 3.2). Zestaw miał długość ok. 52cm i wysokość ok. 35cm. Rdzeń o średnicy 8,4cm wystawał z przodu i z tyłu sekcji uranowych (1/3 nadmiaru wystawała z przodu modelu a 2/3 z tyłu). W dwóch sekcjach wokół rdzenia rozmieszczono cylindry z uranu naturalnego w koszulce (osłonie) aluminiowej. Każdy cylinder miał długość 10,4cm i średnicę 3,6cm i masę 1,72kg. Część rdzenia i cylindry uranowe umieszczono w specjalnym płaszczu stalowym (dwie sekcje modelu). Każda sekcja zawierała 30 uranowych cylindrów, co łącznie dawało masę 51,6kg, a w całym modelu użyto 103,2 kg naturalnego uranu [19]. Konstrukcja płaszcza pozwalała na zdemontowanie zestawu, czyli zarówno rdzeń jak i cylindry można w razie potrzeby wymieniać lub demontować. Dwa płaszcze stalowe umieszczono na drewnianej podstawie, na której można było przesuwac zestaw (mimo, że miał tylko dwie sekcje to jego masa była znaczna). Nadmiarową część rdzenia również umieszczono na dodatkowych drewnianych stojakach w taki sposób, żeby oś rdzenia biegła wzdłuż jednej linii. Przed sekcjami, między nimi i poza, umieszczono w specjalnych szczelinach 3 sztywne kwadraty ze sztucznego tworzywa o wymiarach 30x30x0,3cm. Na tych kwadratowych płytach umieszczano (za pomocą taśmy klejącej) różnego rodzaju detektory aktywacyjne i śladowe. Na każdej płycie mogło się zmieścić nawet kilkadziesiąt detektorów. Dodatkowo, w ramach eksperymentu z dwusekcyjnym zestawem, pomiędzy uranowymi cylindrami umieszczano czujniki temperatury (termopary i termorezystory). Z przodu zestawu zawsze znajdowały się monitory wiązki wykonane z np. aluminium.

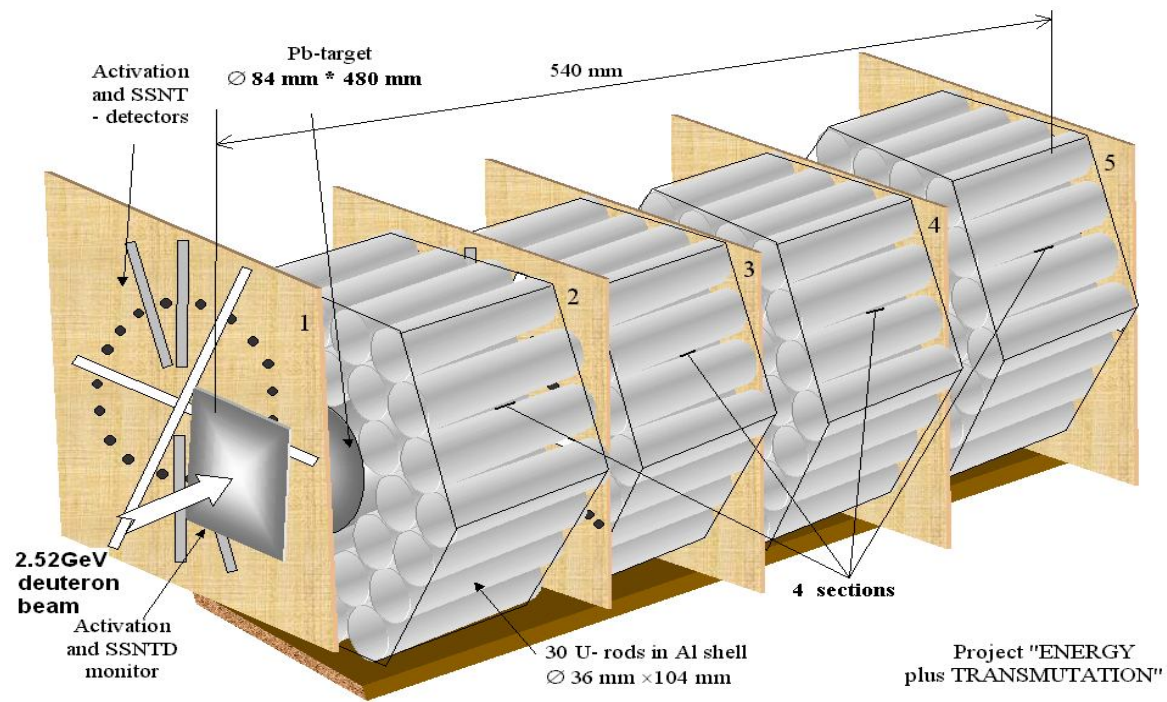


Rys.3.2 Dwu sekcyjny Uranowo-Ołowiany zestaw „Energia plus Transmutacja” [19] Opis rysunku w tekście powyżej.

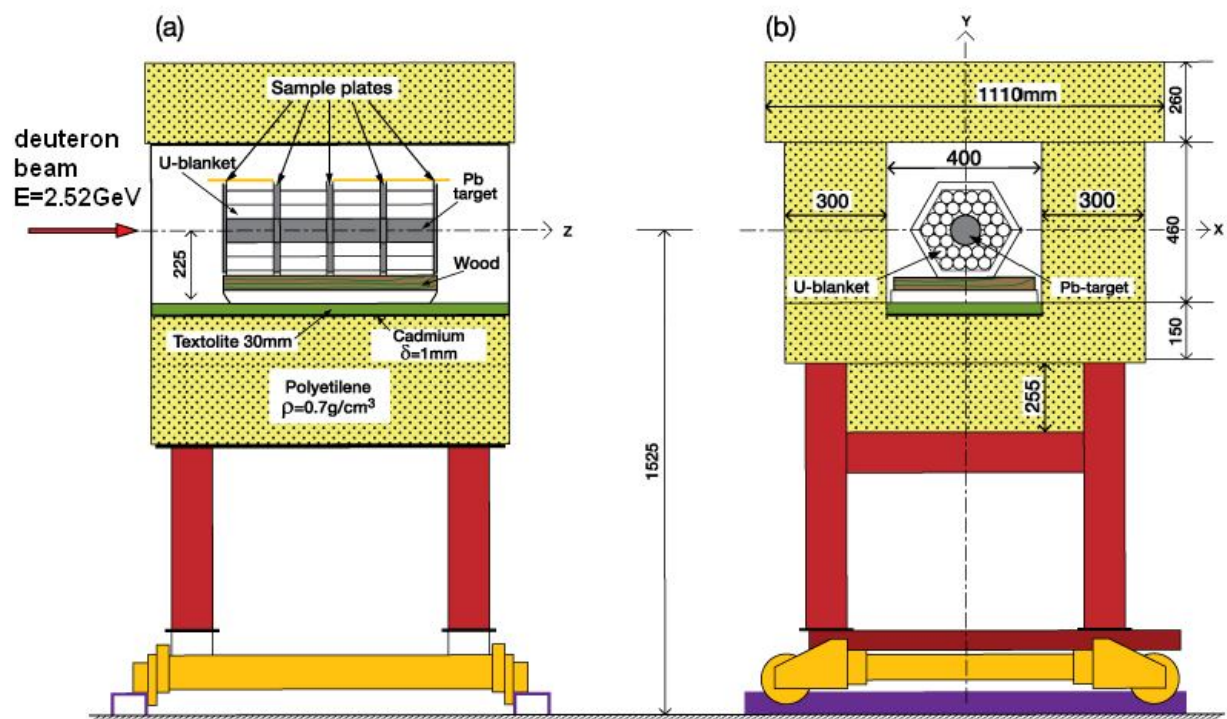
Kolejnym problemem do rozwiązania był przewidywany wysoki poziom promieniowania, jaki byłby generowany z zestawu podczas eksperymentu. Poziom ten byłby zagrożeniem, nawet ze znacznej odległości, dla ludzi. Dlatego należało zaopatrzyć ten zestaw w osłonę biologiczną (Rys. 3.4). Drewniane skrzynie (o całkowitym wymiarze 100x106x111cm i masie 950kg [20]) wypełniono polietylenem (granulki), a same ścianki skrzyń dodatkowo obito od wewnątrz płytami z kadmu o grubości 1mm. Polietylen spełniał rolę moderatora (spowalniał cząstki), a kadm wychwytywał stermalizowane neutrony. Umieszczono dwie skrzynie po bokach, dwie pod zestawem U/Pb i jedną nad nim. Z tych skrzyń zbudowano wielką obudowę z pustym tunelem w środku. Wewnątrz tego tunelu umieszczano zestaw uranowo-ołowiany na drewnianych sankach. Zestaw nie był osłonięty tylko wzdłuż kierunku wiązki z akceleratora. Cała osłona została umieszczona na stelażu stalowym z kółkami. Stelaż był niezbędny, aby środek zestawu U/Pb znalazł się dokładnie na wysokości strumienia z akceleratora (oś zestawu znajdowała się na wysokości 1,52m od podłoża). Stał on na szynach i dzięki temu można było łatwo ustawić precyzyjnie model względem wiązki z akceleratora oraz szybko całość schować w specjalnej dodatkowej osłonie (metalowa szafa) bezpośrednio po eksperymencie aby nie zagrozić badaczom z innych grup (gdy odbywają się eksperymenty z użyciem akceleratora, to jest to seria kilku następujących jeden po drugim). Sam zestaw U/Pb chowano dodatkowo w ołowianym pojemniku, który znajdował się w tej szafie. Wszystkie czynności z przemieszczaniem wózka i zestawu wykonywano ręcznie, także płaszczyzny z detektorami wyjmowano ręcznie.

Począwszy od grudnia 2001 roku do eksperymentów zaczęto wykorzystywać powiększony zestaw 4-o sekcyjny (Rys. 3.3) [20]. Poszczególne sekcje były identyczne (wymiary i masa) jak w poprzednim zestawie ale łączna masa uranu zwiększyła się do 206,4kg, a rdzeń ołowiany schował się w całości wewnątrz tych sekcji. Dodatkowo w górnej części drugiej i trzeciej sekcji pozostawiono otwory bez metalowej pokrywy (Rys. 3.5). Było to specjalne miejsce do lokowania próbek o większych rozmiarach (przede wszystkim aktywności), ponieważ szczeliny między sekcjami zestawu U/Pb miały tylko ok. 2mm.

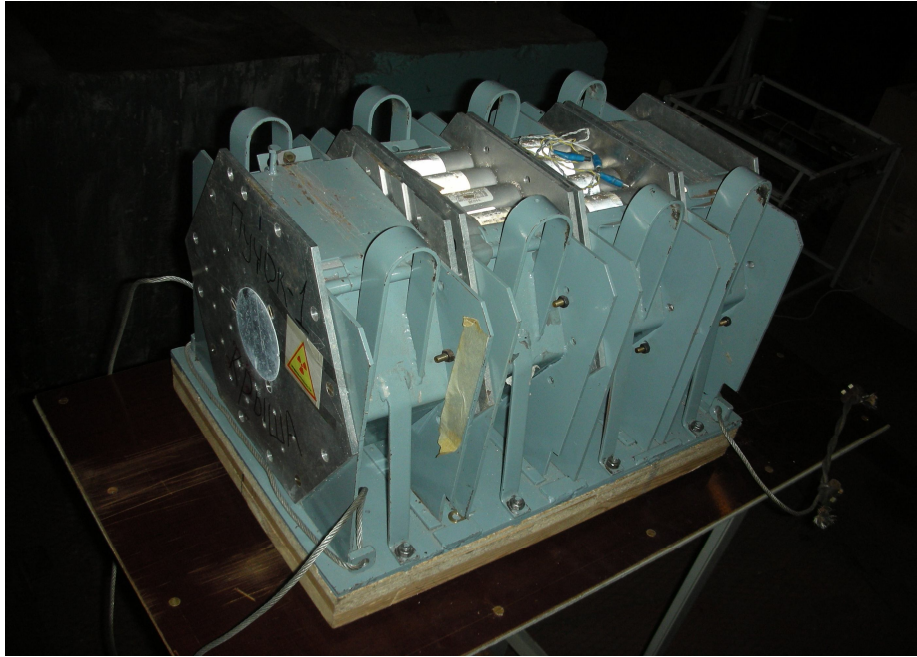




Rys 3.3 Nowy 4-sekcyjny zestaw Uranowo-Ołowiany U/Pb. Opis w tekście powyżej [20].



Rys 3.4 Osłona biologiczna zestawu „Energia plus Transmutacja” Rysunek (a) rzut boczny, rysunek (b) widok od frontu. Wewnątrz osłony widać ulokowany zestaw Ołowiano-Uranowy U/Pb. Opis osłony w tekście powyżej [20].



Rys. 3.5 Cztero sekcyjny zestaw uranowo-ołowiany U/Pb. W drugiej i trzeciej sekcji widać u góry odkryte cylindry uranowe (brak metalowej osłony). (Fot. Autor)

W nowym zestawie umieszczano pomiędzy sekcjami oraz bezpośrednio przed i za modelem, 5 elastycznych folii z detektorami. W odróżnieniu od zestawu dwu-sekcyjnego, w tym przypadku były to miękkie folie, co dawało możliwość wyjęcia ich z wnętrza zestawu bez wysuwania całości z osłony biologicznej (Rys. 3.7). Nowy zestaw był zbyt ciężki aby uczynić to szybko i tylko za pomocą rąk (bezpieczeństwo radiacyjne). Folie wyjmowano zaraz po zakończeniu eksperymentu, a cały wózek z zestawem wjeżdżał do specjalnego pomieszczenia. Nowe elastyczne folie wprowadziły dodatkowe ograniczenie na sztywność i wielkość próbek (detektorów) przyczepianych do folii.

Rodzaje detektorów zostaną opisane dokładniej w następnym podrozdziale (3.2). W podrozdziale (3.2) zostanie przedstawiony wygląd płaszczyzn i folii z detektorami.