

REAKTOR EWA PO WIELU LATACH

EWA research reactor after many years

Andrzej Mikulski

W 2015 r. mija 60. rocznica utworzenia Instytutu Badań Jądrowych (IBJ). Historia IBJ jest ściśle związana z reaktorem badawczym EWA, który był w nim pierwszym i głównym urządzeniem badawczym. W artykule przypomniano wiele ważnych faktów z pierwszego okresu budowy reaktora EWA, pokazano kilka historycznych zdjęć, opisano wykorzystanie reaktora w pracach badawczych i produkcji izotopów. Wymieniono również pewne zdarzenie jakie miały miejsce w czasie jego eksploatacji. Wymieniono również listę osób które wykorzystywały reaktor w swoich pracach naukowych.

In 2015 year passes 60 anniversary of the Institute of Nuclear Research (INR) establishing. The history of INR is closely connected with the research reactor EWA, which was the first and main research device on that area. The article reminds many important facts from the earliest period of the reactor EWA construction, presents some historical photos, describes the utilization of the reactor to scientific works and isotopes production. Small disruptions appearing during reactor operation are mentioned. The list of some persons, which used reactor in their scientific works is also given in the article.

W bieżącym 2015 roku mija 60 rocznica utworzenia Instytutu Badań Jądrowych (IBJ) w Świerku, która obchodzona będzie jako rocznica powstania polskiej atomistyki, a nie tylko powstania tego instytutu, który został przecież zlikwidowany w drugim roku stanu wojennego, czyli w 1982 r.

Historia IBJ wiąże się nierozdzielnie z reaktorem EWA, który był pierwszym i podstawowym urządzeniem badawczym na tym terenie. Na temat reaktora EWA opublikowanych zostało już wiele informacji. W samych tylko Postępkach Techniki Jądrowej w ostatnich latach zamieszczono artykuły, których tytuły brzmiały następująco:

- Jak kupowano reaktor EWA do Świerku? [1]
- Powstanie, rozwój i działalność Instytutu Badań Jądrowych – Pion energetyki i wykorzystanie reaktorów [2],
- Reaktor EWA jako stymulator awansu naukowego pracowników IBJ na przykładzie jednego z zakładów [3].

Wiemy jak przebiegało podpisanie kontraktu na dostawę tego reaktora EWA i jak udało się obniżyć jego cenę kontraktową. W tej chwili brzmi to może humorystycznie ale wiem od Cyryla Dąbrowskiego, osoby która była wtedy w Moskwie, że czekając kilka dni w hotelu na ciąg dalszy rozmów mieli różne myśli nie wyłączając tych najczarniejszych. Ale udało się zredukować pierwotną sumę 15 mln dolarów do 5.5 mln dolarów korzystając z posiadanej oferty dostawy podobnego reaktora z Wielkiej Brytanii, zdobytej można powiedzieć półlegalnie w czasie pobytu Cyryla Dąbrowskiego w Londynie na oficjalnym otwarciu elektrowni jądrowej w Calder Hall.

O tym co było później tak pisze Konrad Blinowski [2]:

Budowa reaktora [EWA] rozpoczęta się w 1956 r. i trwała dwadzieścia miesięcy. Urochomienie nastąpiło 14 czerwca 1958 r.¹

Zanim w Świerku przystąpiono do budowania reaktora i innych obiektów, Grupa inżynierów z IBJ przeszła w Instytucie im. Kurczatowa w Moskwie przeszkolenie na operatorów reaktora, poprzedzone przygotowawczym kursem w Instytucie Fizyki UW.

Po uzyskaniu licencji i powrocie do kraju na początku 1957 r.² ci młodzi, pierwsi polscy specjaliści reaktorowi w składzie: Jerzy Aleksandrowicz, Wiktor Baran, Witold Byszewski, Leszek Łabno, Przemysław Szulc, Krzysztof Żarnowiecki zorganizowali oraz przeszkolili w zakresie pełnej obsługi reaktora służby operatorskie, mechaniczne, elektryczne i osoby zajmujące się kontrolą dozymetryczną.

(...)

Dlatego tym większa jest zasługa zespołu, który pod kierownictwem Jerzego Aleksandrowicza dokonał rozruchu pierwszego w Polsce reaktora i z takim zaangażowaniem oraz dbałością prowadził jego eksploatację, że reaktor EWA stał się z pewnością najlepiej wykorzystywanym tego typu reaktorem w Europie.

Istotnym użytkowym parametrem reaktora badawczego jest strumień neutronów, który dla danego rdzenia jest proporcjonalny do mocy. Aby zwiększyć początkowe możliwości wykorzystania reaktora EWA o mocy 2 MW, zwłaszcza do produkcji izotopów i badań wykorzystujących wiązki neutronów wyprowadzone z kanałów poziomych, przystąpiono w latach sześćdziesiątych do opracowania programu podniesienia mocy EWA do 10 MW. Zostało to zrealizowane w trzech kolejnych etapach. Po modyfikacji kaset paliwowej w listopadzie 1964 r. zwiększono moc do 4 MW. Przebudowa rdzenia i zastosowanie innego typu paliwa pozwoliły w listopadzie 1967 r. na osiągnięcie mocy 8 MW. W trakcie dalszej 6-letniej pracy zrealizowany został program pomiarów i obliczeń, który dostarczył informacji o charakterystykach eksploatacyjnych tego, w zasadzie nowego reaktora. Określone zostały jego marginesy bezpieczeństwa. Od maja 1973 r. EWA rozpoczęła pracę na nominalnej mocy 10 MW. Od tego dnia zmodyfikowany reaktor był wykorzystywany bezawaryjnie aż do 24 lutego 1995 r., kiedy został definitywnie i uroczystie, aczkolwiek z nutą żalu, wyłączony z dalszej eksploatacji.

Z tytułu tego znakomitego osiągnięcia, jakim była przebudowa reaktora EWA, utrzymanie go w niezawodnym stanie, dzięki czemu dla dobra gospodarki i nauki polskiej pracował bez awarii 36 lat i 8 miesięcy, należą się słowa uznania dla całej załogi Zakładu Eksploatacji Reaktora oraz jego kierowników, którymi kolejno byli: Jerzy Aleksandrowicz, Leszek Łabno, Eugeniusz Dziakowski, Witold Byszewski, Wiesław Poławski, Krzysztof Pytel, Władysław Mieleśczenko i Tadeusz Matysiak.

(...)

Wiodącą rolę w opracowaniu przebudowy reaktora EWA oraz zaprojektowaniu reaktora MARIA i zestawów krytycznych odegrał Zakład IX Inżynierii Reaktorowej z kierownikiem inż. Wacławem Frankowskim, a także Zakład IXA Fizyki Reaktorowej kierowany przez inż. Wacława Dąbka.

Jak w tamtych czasach wyglądał budynek reaktora EWA frontu widać na okładce tego numeru. Na fot.1 pokazana jest sterownia gdzie za pulpitem siedzą dwie osoby (jednym z operatorów siedzących dalej jest Jerzy Kozieł).

Krótko historię reaktora EWA opisał Tadeusz Matysiak (zob. osobny materiał), ostatni kierownik tego reaktora, gdy pracował w latach 1994-1995 i w czasie jego likwidacji w latach 1995-2002, ale też uczestnik pierwszego kursu szkoleniowego w 1957 r., o którym wspomina K. Blinowski.

Zajrzyjmy jeszcze co o reaktorze EWA napisali w roczniku IBJ z 1972 r. [4], czyli po 14 latach pracy reaktora w rozdziale 12 „Inżynieria reaktorowa”, Witold Byszewski, Władysław Rutkowski i Przemysław Szulc (strona 133 i dalsze):

W 1972 roku reaktor EWA pracował łącznie 3614 godzin (41% czasu) na mocy nominalnej 8 MW i 584 godziny na mocy zmiennej przystosowanej do potrzeb użytkowników. Reaktor wykorzystywany był głównie do produkcji izotopów promieniotwórczych oraz jako źródło neutronów wyprodukowanych kanałami poziomymi. Począwszy od 5 maja 1972 r. wydłużono tygodniowy cykl pracy reaktora EWA o 20 godzin i obecnie pracuje na mocy nominalnej 104 godziny tygodniowo.

Równoległe z bieżącą eksploatacją reaktora EWA prowadzone były prace zmierzające do jego efektywniejszego wykorzystania. Do prac tych należą:

- teoretyczne i eksperymentalne określenie temperatur koszulki elementu paliwowego w gorących miejscach rdzenia przy mocy reaktora do 12 MW i określenie marginesów bezpieczeństwa przy mocy nominalnej 10 MW;
- opracowanie eksploatacyjnego raportu bezpieczeństwa dla reaktora EWA-10 i wprowadzenie zmian i uzupełnień w obiekcie związanych z proponowanym zwiększeniem mocy nominalnej reaktora EWA z 8 do 10 MW;
- zainstalowanie nowej poczty pneumatycznej dla transportu zasobników z materiałami napromienionymi w reaktorze do trzeciej komory gorącej w budynku reaktora oraz przekazanie dwóch pierwszych komór gorących do badań materiałowych;- przygotowanie węzłów instalacyjnych do zabudowy w reaktorze EWA niskociśnieniowej pętli wodnej.

W maju 1972 roku zrealizowano w reaktorze EWA cykl porównawczych pomiarów kalorymetrycznych, w których uczestniczyły zespoły specjalistów reprezentujących 8 europejskich ośrodków reaktorach [niestety rocznik nie podaje nazw tych ośrodków].

W grudniu 1972 roku zakończono wraz z zespołem specjalistów z Leningradzkiego Instytutu Fizyki Reaktorowej serię pomiarów mas krytycznych konfiguracji rdzenia z pułapkami wodnymi i berylowymi, po czym przystąpiono do instalowania w reaktorze MARYLA nowego rdzenia, stanowiącego prototyp rdzenia reaktorów uniwersyteckich

(...)

W zakresie technologii elementów paliwowych EK-10 i WWR-SM dla reaktorów uniwersyteckich i EWA-10 zbadano możliwości prowadzenia zautomatyzowanego procesu spawania na różnego typu spawarkach dostępnych w Instytucie.

(...)

Przeprowadzono po raz pierwszy w IBJ badanie elementu paliwowego typu EK-10 po pracy w reaktorze. Na zainstalowanych w komorach gorących reaktora EWA urządzeniach zbadano element paliwowy pod względem odkształceń i zmian powierzchni koszulki w wyniku pracy w reaktorze. Przeprowadzono obserwacje przez wziernik peryskopowy oraz wykonano zdjęcie całego elementu paliwowego i fragmentów powierzchni koszulki z widocznymi zmianami. Element paliwowy pocięto na odcinki 7-10 mm i 6 próbek przekazano do Zakładu Chemii Radio-pierwiastków, a 6 przeznaczono do badań makroskopowych w komorze gorącej reaktora.

O innych pracach dotyczących reaktora EWA napisano (s. 148):

W zakresie dynamiki reaktorów mocy prace dotyczyły następujących zagadnień:

- model dynamiki reaktora EWA-10
- składowe bilansu reaktywnościowego
- budowa systemu zbierania i przetwarzania danych.

Przy opracowywaniu modelu dynamiki zastosowano dwa różne podejścia metodologiczne. jedno z nich prowadzi przez opis mechanizmów powstawania podstawowych sprzężeń reaktywnościowych, drugie natomiast wykorzystuje jedynie równania kinetyki reaktora, w których założona musi być odpowiednia postać funkcji reaktywności. Obydwa podejścia były sprawdzane doświadczalnie, a uzyskane wyniki okazały się zadowalające [5].

Poszerzone zostały w sposób istotny badania składowej bilansu reaktywności w reaktorze mocy pochodzące o zmian w koncentracji ksenonu. Przeprowadzone pomiary wykazały, że z wystarczającym stopniem dokładności można stosować opracowany teoretyczny opis zjawiska [6]. W zakresie oprzyrządowania systemu prowadzona jest budowa elementów zbierania i przetwarzania danych, składających się na minimalną konfigurację systemu jaka będzie uruchomiona w pierwszej kolejności. Prowadzone są również prace zmierzające do oprogramowania systemu. [szkoda, że rocznik nie podaje szczegółów tej pracy, a autor też nie ma ich w pamięci].

oraz (s. 176):

Opracowano analizy zagrożenia promieniowaniem i charakterystyki dozymetrycznej układów technologicznych do eksploatacyjnego raportu bezpieczeństwa reaktora EWA.



Fot. 1. Sterownia reaktora EWA

Photo 1. Control room of the EWA research reactor

Autor nie podejmuje się oceny powyższych informacji, a przytacza je tylko z obowiązku kronikarskiego.

Prace nad zwiększeniem mocy reaktora EWA najpierw do 4 a potem do 10 MW znalazły opis w artykule PTJ [7]

W oparciu o pierwsze pomiary temperatur powierzchni elementów paliwowych wykonane w reaktorze i badania przeprowadzone w 1963 r. w pętli doświadczalnej, w listopadzie 1964 r. zakończone zostały prace na podniesieniu mocy reaktora do 4 MW. Zastosowano nowe rozwiązanie kasety paliwowej ze zwężkami profilowanymi wokół każdego elementu paliwowego. Kasety te zaprojektowano w Zakładzie Eksploatacji Reaktora, a wykonał je Zakład Produkcji Aparatury Doświadczalnej. W ten sposób, bez zwiększenia wydatku wody w pierwszym obiegu chłodzenia, zmniejszono gradient temperatury pomiędzy ścianką elementu paliwowego a wodą, przy jednoczesnym spłaszczeniu rozkładu temperatur. Można więc było podnieść moc reaktora bez wprowadzania żadnych zmian w obiegach chłodzenia.

(...)

W rezultacie prac czechosłowacko-niemiecko-polskiej grupy w Zakładzie Eksploatacji Reaktora IBJ opracowano wspólnym projektem techniczny nowego rdzenia na 10 MW z elementami paliwowymi typu WWR-M i reflektorem berylowym.

(...)

Zgodnie z naszymi postulatami Goskomitet ds. Energii Atomowej ZSRR wyraził zgodę na wyprodukowanie elementów paliwowych zmodyfikowanych w porównaniu z tymi, które są używane w radzieckich reaktorach typu WWR-M. Modyfikacja ta dotyczyła:

- zmiany długości czynnej elementu z 500 mm na 600 mm,
 - zmiany wzbogacenia paliwa z 20% na 36%,
 - zmiany koncentracji U-235 w elemencie paliwowym z 32 g na 38,9 g.
- Zmiany te miały na celu uzyskanie większego zapasu reaktywności, a więc i większej głębokości wypalenia. Zmodyfikowanemu typowi elementów paliwowych nadano nazwę WWR-SM.*

Przebudowa rdzenia i zastosowanie innych elementów paliwowych zakończyło się pełnym sukcesem i reaktor EWA do końca eksploatacji pracował z mocą 8-10 MW.

Pierwszą działalnością badawczą w zakresie konstrukcji reaktorowych było zbudowanie już w 1960 r., czyli w dwa lata po uruchomieniu reaktora EWA, pierwszej niskociśnieniowej pętli wodnej, co opisano w [8].

Część rdzeniowa pętli umieszczona była w specjalnie przystosowanej kasie z elementami paliwymi typu EK-10. Oddzielny obieg chłodzenia pętli zlokalizowano w pompowni reaktora. Układ kontroli technologicznej zapewniał możliwość kontroli parametrów technologicznych [temperatura i przepływ wody].

(...)

Na pętli zrealizowano dwa programy badawcze: określenie wypalenia U235 metodą nieniszczącą za pomocą monitorów kobaltowych całkujących strumień neutronów w czasie [na podstawie kontraktu z MAEA] oraz badania chłodzenia elementu paliwowego reaktora WWR-S w kanałach cylindrycznych i w kanale o zmiennym przekroju [dotyczył pierwszego etapu zwiększenia mocy reaktora EWA].

(...)

W 1964 r. przystąpiono do realizacji trzeciego programu – badania układu szczelności elementów paliwowych. Programu tego nie zrealizowano, gdyż wysokie tło promieniowania w pompowni reaktora uniemożliwiło prowadzenie czułych pomiarów, jakie były niezbędne w układzie detekcji szczelności elementów paliwowych. Program zrealizowano dopiero po zbudowaniu drugiej pętli, która obecnie jest zainstalowana w reaktorze EWA ze specjalnym bocznikiem pomiarowym poza pompownią reaktora.

Z powyżej opisanych prac najwyższej ocenić należy budowę układu wykrywania nieszczelności elementów paliwowych (WNEP), który po przeprojektowaniu i komputeryzacji zastosowany został w reaktorze MARIA, gdzie z powodzeniem pracuje od wielu lat.

Eksploatacja każdego reaktora badawczego nie przebiegała bez drobnych zakłóceń i o tym też trzeba napisać. W archiwach PAA natrafiłem na opis dotyczący uszkodzenia elementu paliwowego w dniu 10 października 1988 r.

Dyrektor IEA doc. dr hab. inż. Jerzy Michalik w liście z 25 października przesłanym do Prezesa PAA dr. Mieczysława Sowińskiego opisał dokładnie przebieg tego zdarzenia, które określił jako »meldunek o zdarzeniu zaliczanym do „zagrożeń awaryjnych” w reaktorze EWA« w dniu 10 października, o którym informował osobiście Prezesa następnego dnia. W dniu 10 października br. w czasie transportu ze schronu reaktora EWA został uszkodzony element paliwowy. Reaktor w tym czasie był wyłączony. Nie stwierdzono nadmiernego wzrostu skażeń wody obiegu pierwotnego i powietrza w układach wentylacyjnych reaktora. Uszkodzony element i jego fragmenty przeladowano do specjalnego hermetycznego zasobnika, który umieszczono w schronie.

W protokole dotyczącym uszkodzenia elementu paliwowego w reaktorze EWA stwierdzono, że błąd operatora mechanika spowodował to uszkodzenie podczas operacji przeładunku.

W czasie realizacji odpowiedniej instrukcji tj. transportu elementu paliwowego ze schronu do (wolnego gniazda) w rdzeniu reaktora dyżurny mechanik wykonujący tę operację zaobserwował w fazie transportu elementu zawieszony na chwytaku w otworze centralnym malej płyty obrotowej zanik sygnalizacji potwierdzającej schwytanie główki elementu. Przerwał operację i stwierdził (poprzez peryskop), że element uwolnił się z chwytaka i opadł, opierając się o płytę montażową reaktora, główką natomiast pozostając w otworze centralnym malej płyty obrotowej. Próba ponownego schwytania elementu doprowadziła do jego upadku na płytę montażową reaktora. Po otwarciu (pod nadzorem dozometrycznym) korka w płycie obrotowej i przeprowadzeniu z pomocą lusterka oględzin obszaru płyt montażowych w pobliżu kanału zrzutowego do schronu, gdzie opadł element, dyżurny mechanik zepchnął go manipulatorem do zbiornika centralnego. Ponieważ kształt i długość zrzuconego elementu wzbudziły podejrzenia co do jego kompletności, kontynuował oględziny płyt, co doprowadziło do zlokalizowania w tym samym rejonie drugiego fragmentu elementu paliwowego. Była to dolna część elementu wraz z nóżką. Dyżurny mechanik schwytał tę część manipulatorem i zrzucił ją kanałem zrzutowym do schronu reaktora.

Uszkodzony element paliwowy pozostał w hermetycznym zasobniku do czasu wywozu wypalonego paliwa do Federacji Rosyjskiej w 2009 r.

Warto jeszcze zacytować fragment Protokołu Kontroli Nr 14/91/EWA w reaktorze EWA przeprowadzonej w dniu 23 maja 1991 r. w zakresie diagnostyki wibracyjnej, która jest bliska autorowi:

Reaktor pracuje z systemem diagnostyki wibracyjnej zgodnie z założeniami. Prowadzona jest rejestracja i analiza sygnałów o wibracji rurociągów pierwotnego obiegu chłodzenia reaktora. Ustalono progowe wartości sygnalizacji. Wprowadzono modulowany sygnał dźwiękowy zależny od częstotliwości i amplitudy sygnałów. Stwierdzono, że techniczne wykonanie układu nie jest doskonałe. Układ wzbudza się samoistnie. Przejawia się to nieuzasadnioną aktywnością sygnałów. Konstruktorzy układu pracują nad jego udoskonaleniem.

W oparciu o ten protokół doc. Waław Dąbek, Główny Inspektor Dozoru Jądrowego skierował do prof. Stefana Chwaszczewskiego, dyrektora Instytutu Energii Atomowej prośbę o:

- przeprowadzenie oceny pracy systemu diagnostyki wibracyjnej i zmodernizowanego układu mocowania rurociągów reaktora i przedstawienie dozorowi jądrowemu wniosków.

i stosowana ocena systemu została przeprowadzona przez autora tych słów.

Poszukiwania innych materiałów drukowanych nie dały wyników, ale w pamięci osób pracujących przy reaktorze pozostały takie fakty:

- 1) rozpoczęcie domieszkiwania krzemu i szkolenie operatorów przyszłego reaktora badawczego w Syrii na zlecenie MAEA, gdy kierownikiem reaktora był Krzysztof Pytel w latach 1983-87,
- 2) określenia współczynników reaktywnościowych reaktora z wykorzystaniem specjalnie wybudowanego oscylatora do pracy doktorskiej dokonał Stanisław Lattek (obecnie redaktor naczelny PTJ),
- 3) badania emisji cząstek alfa przy rozszczepieniu uranu-235 neutronami termicznymi realizowane były z udziałem Adama Marii Gadomskiego (obecnie we Włoszech) do jego pracy magisterskiej, w latach 1964-68,
- 4) przygotowanie i uruchomienie w standardzie CAMAC pierwszego systemu zbierania informacji technologicznych (temperatura, przepływ chłodziwa, strumień neutronów, położenie prętów regulacyjnych itd.) znanego pod skrótem ERIS (ang. Ewa Reactor Information System) w 1983 r. przez autora tego artykułu (jeszcze wtedy bez monitorów ekranowych, a z wydrukiem informacji na drukarce mozaikowej),
- 5) zaprojektowanie i zbudowanie analogowego systemu diagnostyki wibracyjnej pomp obiegu pierwotnego, który wykonał Bronisław Szczechła w 1990 r.,
- 6) zestawienie i oprogramowanie części cyfrowej wspomnianego wyżej analogowego systemu diagnostyki wibracyjnej w standardzie CAMAC wykonał i nadzorował pracę systemu w latach 1990-1995 autor tego artykułu, a działo to się w sytuacji gdy dozór jądrowy uzależnił wydanie zezwolenia na dalszą eksploatację reaktora od bieżącej kontroli stanu technicznego pomp i rurociągów obiegu pierwotnego i sprawdzania czy natężenie wibracji pozostaje na stałym poziomie w kolejnych cyklach pracy reaktora.

Powyższy spis jest na pewno niekompletny. Pracę fizyków (a w tym prof. Andrzeja Czachora, prof. Ludwika Dobrzyńskiego i innych) na kanałach poziomych opisał K. Blinowski w cytowanym już powyżej artykule. Natomiast doktoraty (w imponującej liczbie 29) i habilitacje (12) uzyskane z „wykorzystaniem możliwości badawczych jakie stwarzał reaktor EWA” w swej 37-letniej eksploatacji zostały zestawione przez J. Leciejewicza [3].

I tak by oto wyglądała pokrótce chlubna historia budowy i eksploatacji reaktora EWA zakończona sprawną i nisko-kosztową jego likwidacją, co też może być powodem do dumy.

Autor składa podziękowania Tadeuszowi Matysikowi, Krzysztofowi Pytlowi, Adamowi M. Gadomskiemu za dostarczone materiały.

*materiał przygotował dr Andrzej Mikulski
Państwowa Agencja Atomistyki,
Warszawa*

Literatura

- [1] T. Wójcik: Jak kupowano reaktor EWA do Świerku? PTJ 2011, z.1, s. 22
- [2] K. Blinowski: Powstanie, rozwój i działalność Instytutu Badań Jądrowych – Pion energetyki i wykorzystanie reaktorów, PTJ 1995, z.3, s. 40
- [3] J. Leciejewicz: Reaktor EWA jako stymulator awansu naukowego pracowników IJB na przykładzie jednego z zakładów, PTJ 2013, z.2, s.12
- [4] Rocznik Instytutu Badań Jądrowych 1972, Raport IJB 1477/DN/B (wydany w 800 egzemplarzach, ze wstępem prof. dr Jerzego Minczewskiego).
- [5] J. Boużyk, A. Gadomski, J. Topa: O wybranych modelach dynamiki reaktora ze sprzężeniem zwrotnym mocy, Raport IJB „P” 1420/IA/PR oraz KERNENERGIE, 16, 144 (1973)
- [6] J. Kubowski: Analysis of the Xenon Reactivity Effects in WWR-SMType Reactor, ATOMKERNENERGIE, 21, 192 (1973)
- [7] W. Byszewski: Zwiększenie mocy reaktora EWA od 1 2 do 10 MW, PTJ, 22, 435-442 (1978)
- [8] W. Byszewski: Pierwsza pętla badawcza w reaktorze EWA, PTJ, 22, 459-463 (1978)

Przypisy

- 1 Faktyczny rozruch fizyczny reaktora nastąpił 28 maja 1958 r.
- 2 Kurs rozpoczął się w 1957 r., a nie w 1956 r. jak podano w [3]