

INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ

im. Henryka Niewodniczańskiego

Polskiej Akademii Nauk

ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków

www.ifj.edu.pl/publ/reports/2015/

Kraków, grudzień 2015

Raport Nr. 2087/AP

**Eksploatacja Cyklotronu AIC-144
przystosowanego do celów medycznych cz. 3
Sprawozdanie za rok 2015**

Artur Sroka¹, Agnieszka Rogóż-Duda^{1,2}, Maciej Sumera¹, Paweł Bogdali¹,
Robert Cieślik¹, Ryszard Grzybek¹, Bogdan Lipka¹, Henryk Michałowski¹, Janusz Mołęda¹,
Tadeusz Norys¹, Wojciech Pyzioł¹, Marek Ruszel¹, Bogusław Sałach¹, Jacek Sulikowski¹,
Krzysztof Daniel¹, Wojciech Kochoński¹, Damian Wojas¹

¹ Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego, PAN, Kraków

² Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Zarządzania, Kraków

Abstract:

Cyclotron AIC-144 forming part of the Cyclotron Center Bronowice was built as a universal device research and development, which enabled the acceleration of three types of particles: alpha, deuterons and protons with energies from 15 to 60 MeV.

From 2012 on cyclotron AIC-144 is carried out proton therapy of eye tumors cooperation with the Jagiellonian University Hospital.

This report presents the current state of the cyclotron and presents the work that was done in 2015: rebuilt power components cyclotron, the ion source, the leak detection system cooling water and new control system cyclotron.

Spis treści

Rozdział 1. Wstęp	3
Rozdział 2. Analiza jakości wybranych parametrów systemu zasilania energią elektryczną....	4
Rozdział 3. Modernizacja układów automatyki i przebudowa Pulpitu Sterowniczego Cyklotronu AIC-144.	9
Rozdział 4. Sterowanie serwomechanizmami cyklotronu AIC-144 (panel operatora).....	18
Rozdział 5. Układ detekcji wystąpienia wycieku w systemie chłodzenia	23
Rozdział 6. Przebudowa źródła jonów	25
Rozdział 7. Metody i narzędzia jakości wykorzystywane na Cyklotronie AIC-144	28
Bibliografia.....	34

Rozdział 1. Wstęp

Kolejny rok eksploatacji Cyklotronu AIC-144, otworzył pole do dalszych modernizacji mających na celu eliminację słabszych czy też wyeksploatowanych elementów instalacji akceleratora w myśl zasady iż łańcuch jest tak silny jak jego najsłabsze ogniwo. W trzeciej części raportu autorzy skłonili się do ramowej prezentacji wykonanych prac oraz ich zastosowania. Cyklotron AIC-144 jest wykorzystywany do terapii oka, a także do naświetlania izotopów o czym była mowa w pierwszej i drugiej części raportu [17,18,19]. W roku 2015 dzięki bezawaryjnej pracy urządzeń, właściwemu zarządzaniu oraz zaangażowaniu pracowników kontynuowano realizację podjętych zobowiązań wobec Szpitala Uniwersyteckiego jak też wewnętrznych użytkowników. Zrealizowano 12 sesji radioterapeutycznych, w wyniku których napromieniono 39 pacjentów.

Tabela 1. Ilość pacjentów poddanych napromienianiu w 2015 roku.

Lp.	Termin napromienienia	Liczba pacjentów w sesji
1	20-23.01.2015	4
2	10-13.02.1015	3
3	17-20.03.2015	4
4	14-17.04.2015	2
5	12-15.05.2015	3
6	16-19.06.2015	4
7	7-10.07.2015	5
8	25-28.08.2015	2
9	22-25.09.2015	3
10	20-23.10.2015	4
11	17-20.11.2015	3
12	8-10.12.2015	4

Przy współpracy z zespołem prof. dr hab. Jerzego Mietelskiego z Zakładu Fizykochemii Jądrowej IFJ PAN wykonano 8 sesji aktywacji, dziesięciu rodzajów izotopów przedstawionych w Tabeli 2.

Tabela 2. Wykaz izotopów naświetlanych w roku 2015.

Lp.	Materiał Naświetlany	Główny nuklid powstały w wyniku reakcji
1.	Bizmut (Bi)	$^{206,208}\text{Bi}$
2	Potasu bromek (KBr)	^{79}Kr
3	Potasu jodek (KJ)	^{127}Kr
4	Wapnia węglan (CaCO_3)	^{47}Sc
5	Rubid (Rb)	^{85}Sr
6.	Ruten (Rh)	$^{95}\text{Tc}, ^{101,102}\text{Rh}$
7.	Tor (Th)	^{230}U
8.	Rutenu chlorek (RuCl_3)	$^{101,102}\text{Rh}$
9.	Rubidu azotan (RbNO_3)	^{85}Sr
10	Tellur (Te)	^{126}J

W tym roku Cyklotron AIC-144 pracował przez około 4900 godzin, natomiast układ próżniowy około 7500 godzin.

Rozdział 2. Analiza jakości wybranych parametrów systemu zasilania energią elektryczną.

Niezawodna praca cyklotronu w trybie terapii wymaga stabilności systemu zasilania energią. [10, 11, 12, 13]. Większość przerw w zasilaniu trwa niespełna sekundę, powodują one jednak wyłączenie zasilacza Magnesu Głównego a także Systemu Próżniowego [1,2]. Konsekwencją przerywania ciągłości pracy niniejszych urządzeń są opóźnienia w terapii trwające nawet do 5 godzin. Niestety nie mamy wpływu na jakość energii, która jest nam

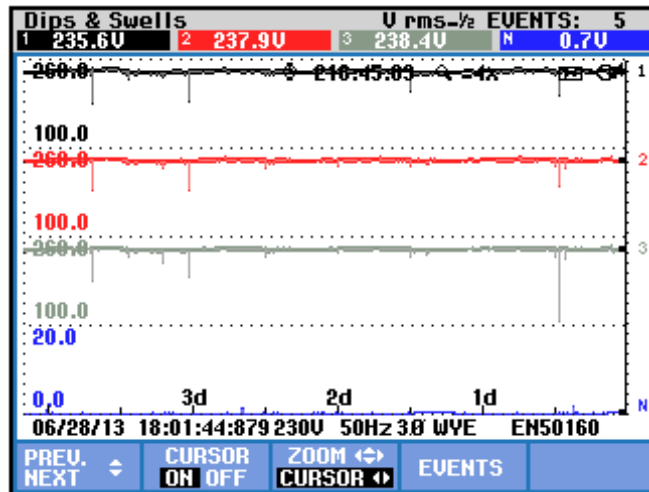
dostarczana przez zakład energetyczny, ale możemy ją monitorować. W przypadku zaobserwowania dużych niestabilności sieci energetycznej można wprowadzić dyżury nocne, dzięki którym operator cyklotronu posiada możliwość podjęcia interwencji i uruchomienia systemu ponownie.

Monitoring sieci energetycznej realizujemy przy użyciu rejestratora Fluke 434 w połączeniu z oprogramowaniem Fluke-view. Urządzenie jest podłączone do sieci energetycznej wewnątrz budynku. Do celów monitoringu wykorzystujemy takie funkcje urządzenia jak Scope Waveform (Oscyloskopowy wykres kształtu przebiegu) oraz Dips and Swells (Spadki i Skoki).

DIPS & SWELLS EVENTS				
START 06/23/13 08:56:44			EVENT 5 / 5	
216:45:03				
DATE	TIME	TYPE	LEVEL	DURATION
06/25/13	01:31:12:077	L3 DIP	180.2 U	0:00:00:069
06/25/13	17:26:58:801	L3 DIP	183.8 U	0:00:00:044
06/27/13	06:14:42:049	L1 DIP	200.4 U	0:00:00:100
06/28/13	06:53:07:017	L3 DIP	106.4 U	0:00:00:130
06/28/13	06:53:08:031	L2 DIP	191.7 U	0:00:00:129
07/02/13 09:41:47 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160				
		NORMAL	BACK	TREND
		DETAIL		

Rysunek 1. Przykładowy rejestr zdarzeń zarejestrowanych przez urządzenie Fluke 434.

Wykorzystanie funkcji Spadki i Skoki (rysunek 1 i rysunek 2) pozwala rejestrować konkretne sytuacje, których skutkiem są opóźnienia w pracy cyklotronu. Przykładem takiego zdarzenia może być zanik napięcia co obrazuje rysunek 2.



Rysunek 2. Wykres „spadki i skoki” zarejestrowany w czasie czterech dni terapii za pomocą Fluke 434.

W skutek zaników napięcia, urządzenia cyklotronu AIC-144 przestały działać, co spowodowało opóźnienia w terapii ocznej [10, 11, 12, 13]. Obrazuje to wykres temperatur na rysunku 3. Porównując wykresy na rysunkach 2 i 3 otrzymujemy dowody powyższego stwierdzenia. Tylko jeden ze spadków napięcia zarejestrowany na urządzeniu Fluke nie spowodował wyłączenia urządzeń, ponieważ był skutkiem ich załączania. Jak widać z pomiarów napięcie nie spadło wtedy poniżej 200 V.

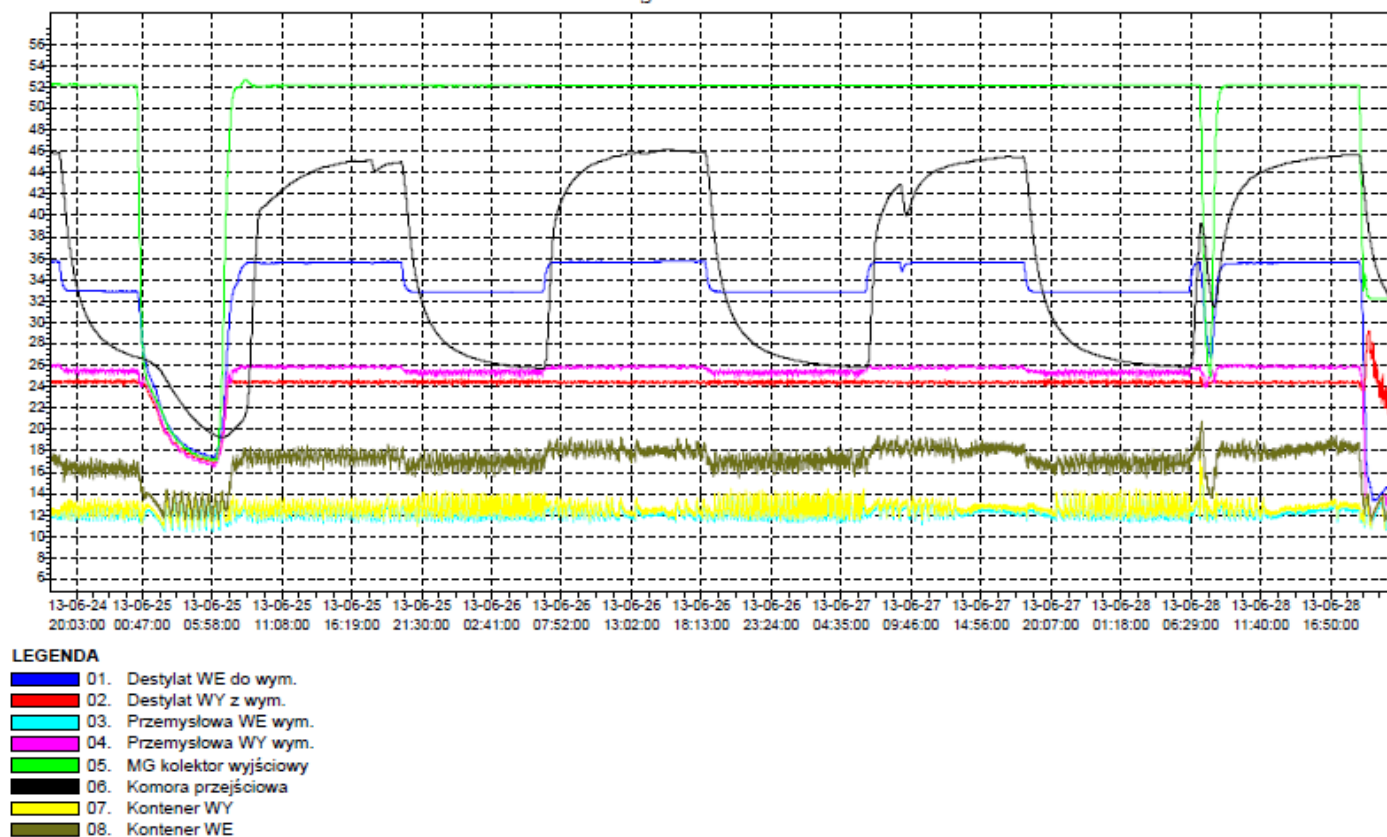
Nazwa pliku archiwum: MPI8 01 Arch.068 od 13-03-11 do 13-07-03.TXT

OPIS: Przebieg czerwonej terapii

Identyfikacja urządzenia: MPI-8 v3.08, adres: 01, nr ser.: 09500473

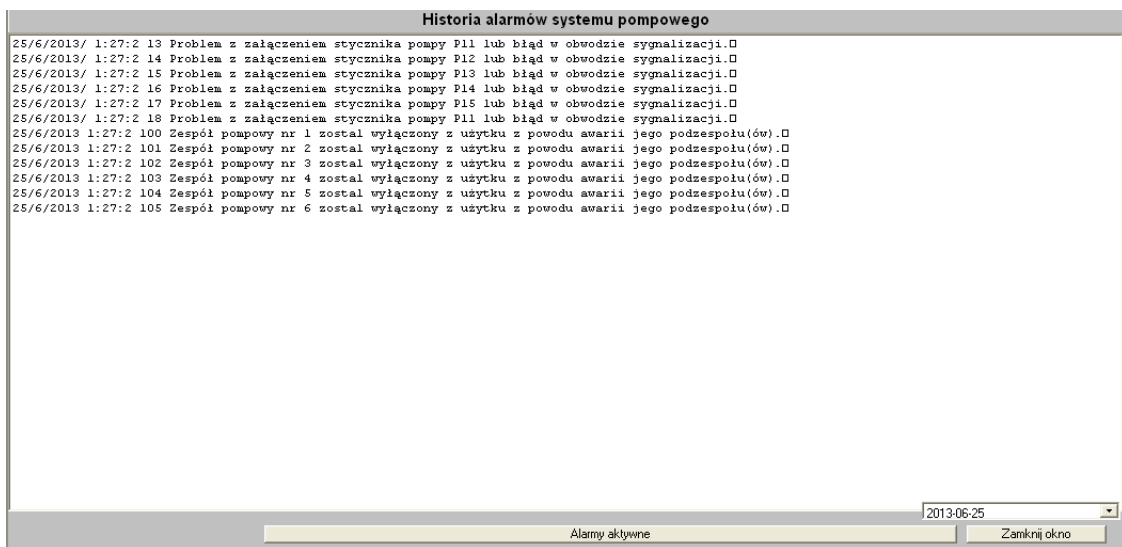
Kontrola szczytów anty danych: NIE WYKONANO

Kontrola ciągłości archiwum: NIE WYKONANO



Rysunek 3. Wykres przedstawiający pomiary temperatur urządzeń cyklotronu AIC-144 wygenerowany za pomocą programu MPI-8-raport na podstawie pomiarów wykonanych przez urządzenie MPI-8.

Szczególnie wrażliwy na przerwy w zasilaniu jest System Próźniowy akceleratora [1,2]. Zanki napięcia trwające mniej niż 100 ms są w stanie sparaliżować pracę tych urządzeń na około dwie godziny. Wynika to z powodu zadziałania zabezpieczeń stanowisk pompowych, które są zatrzymywane przez system sterowania. W tym czasie nie jest możliwe ich uruchomienie do czasu wyhamowania rotorów pomp turbomolekularnych. Następnie po uruchomieniu systemu przywrócenie próżni do poziomu roboczego wymaga pompowania przez około jedną godzinę. Historia alarmów systemu próżniowego potwierdza, że zanik napięcia powoduje zatrzymanie wszystkich zespołów pompowych (rysunek 4).



Rysunek 4. Tabela przedstawiająca alarmy systemu próżniowego po zaniku zasilania.

Skuteczną metodą zabezpieczenia Systemu Próźniowego przed chwilowymi zankami zasilania jest zastosowanie urządzenia UPS. Drogą przetargu publicznego dnia 13.11.2015 został zakupiony zasilacz SIRIUS SR015T firmy GTEC (rysunek 5). Dzięki zastosowaniu w nim technologii przetwarzania VFI zapewnia on bezprzerwowe zasilanie wszystkich urządzeń próżniowych przez czas co najmniej 5 minut, co w zupełności wystarcza do utrzymania pracy systemu na wypadek zakłóceń w sieci energetycznej.



**Rysunek 5. Zasilacz UPS SIRIUS SR015T firmy GTEC
zainstalowany na rozdzielni głównej budynku Cyklotronu AIC-144.**

Rozdział 3. Modernizacja układów automatyki i przebudowa Pulpitu Sterowniczego Cyklotronu AIC-144.

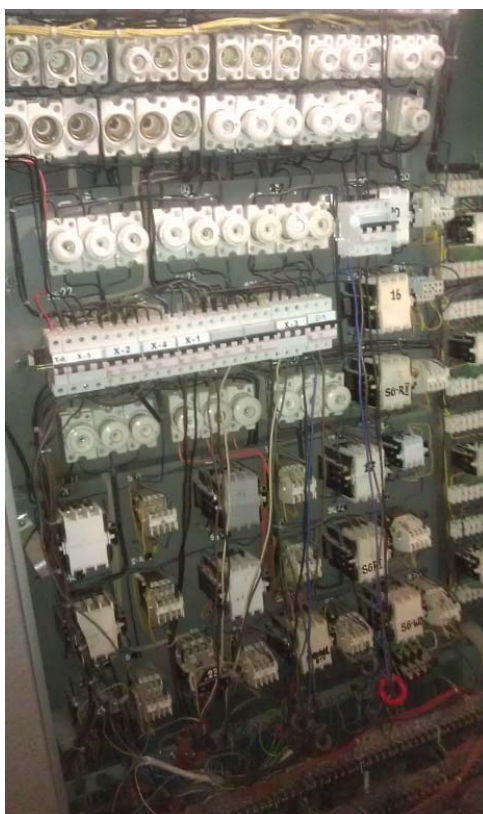
Prace związane z modernizacją układów sterowania akceleratora mają na celu:

- Zwiększenie niezawodności urządzenia,
- Uproszczenie obsługi,
- Zwiększenie precyzji nastaw i stabilności parametrów wiązki protonów,
- Skrócenie czasu regulacji i przełączeń,
- Poprawa estetyki samego Pulpitu Sterowniczego.
- Obecny stan urządzeń jest efektem wieloletnich prac, których rezultatem są:
- Modernizacja sterowania źródłem jonów,
- Instalacja nowych zasilaczy deflektorów,
- Wprowadzenie komputerowego sterowania napędami Cyklotronu,

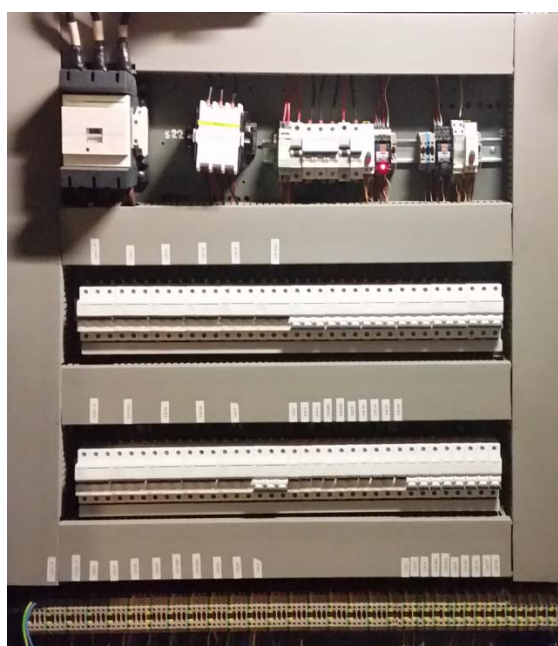
- Wymiana starych urządzeń i wprowadzenie komputerowego sterowania Zasilaczami Cewek Korekcyjnych i Zasilaczami Traktu,
- Wprowadzenie zintegrowanego systemu bezpieczeństwa,
- Budowa nowej rozdzielni elektrycznej w pomieszczeniu zasilaczy cewek korekcyjnych,
- Remont pompowni i wprowadzenie automatyki systemu chłodzenia, Wprowadzenie Systemu Detekcji Wycieku

W niniejszym rozdziale zostaną opisane prace przeprowadzone w nowej rozdzielni usytuowanej w pomieszczeniu zasilaczy Cewek Korekcyjnych, modernizacja sterowania źródłem jonów oraz instalacja nowych zasilaczy deflektorów, a także wprowadzenie komputerowego sterowania napędami cyklotronu.

Niezawodne działanie zasilaczy cewek korekcyjnych i traktu nie byłoby możliwe bez zbudowania nowej rozdzielni elektrycznej. W miejsce przegrzewających się przewodów, styczników o wysokim poziomie emitowanego hałasu podczas pracy zamontowano nowy zestaw zabezpieczeń firmy Schneider-Electric wraz z układem odcinania głównych linii zasilających przez stycznik trójfazowy 160A. Dzięki temu rozwiązaniu załączanie zasilaczy wykonuje się zdalnie z pulpitu. W rozdzielni nie jest obserwowany nadmierny wzrost temperatury elementów składowych instalacji zasilającej. Efekt prac przedstawiają rysunki 7 i 8.



Rysunek 7. Widok rozdzielni Zasilaczy Cewek Korekcyjnych przed remontem.



Rysunek 8. Widok rozdzielni Zasilaczy Cewek Korekcyjnych po remoncie.

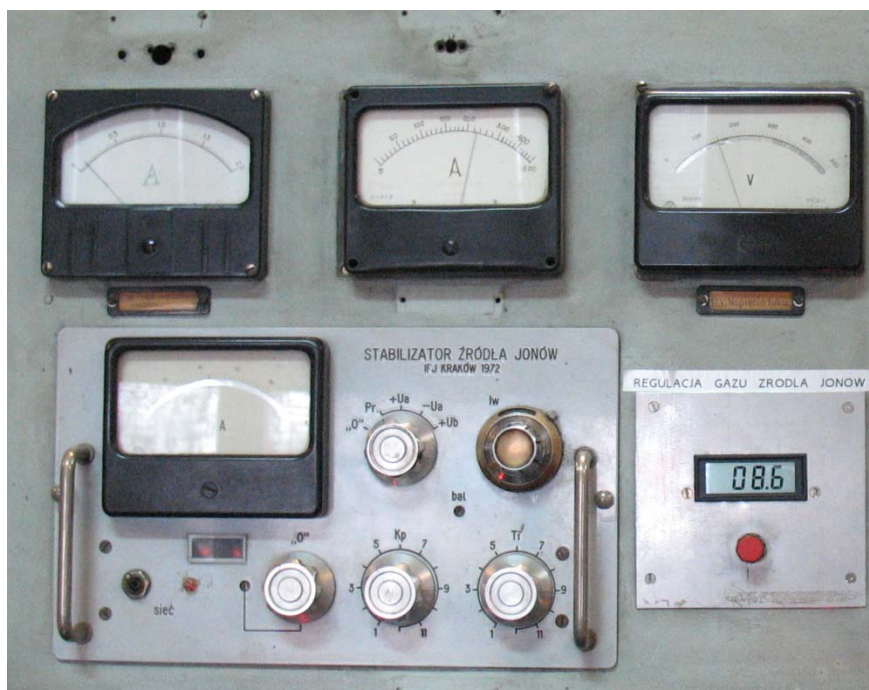
Przez ostatnie lata dokonały się zmiany w estetyce pulpitu. Są one wynikiem modernizacji systemu blokad, sterowania źródłem jonów, deflektorów oraz wprowadzeniem sterowania komputerowego napędami Cyklotronu.

Nowe zasilacze Źródła Jonów oraz Deflektorów znalazły miejsce w szafie elektrycznej typu RACK obok rozdzielni wysokiego napięcia (rysunek 9). Są to niezawodne urządzenia firmy TDK Lambda stosowane przez nas również do zasilania cewek i magnesów.



Rysunek 9. Szafa z zasilaczami Źródła Jonów i Deflektorów.

Stary układ stabilizacji Źródła Jonów (rysunek 10) został zastąpiony regulatorem cyfrowym PID firmy APAR (rysunek 11).

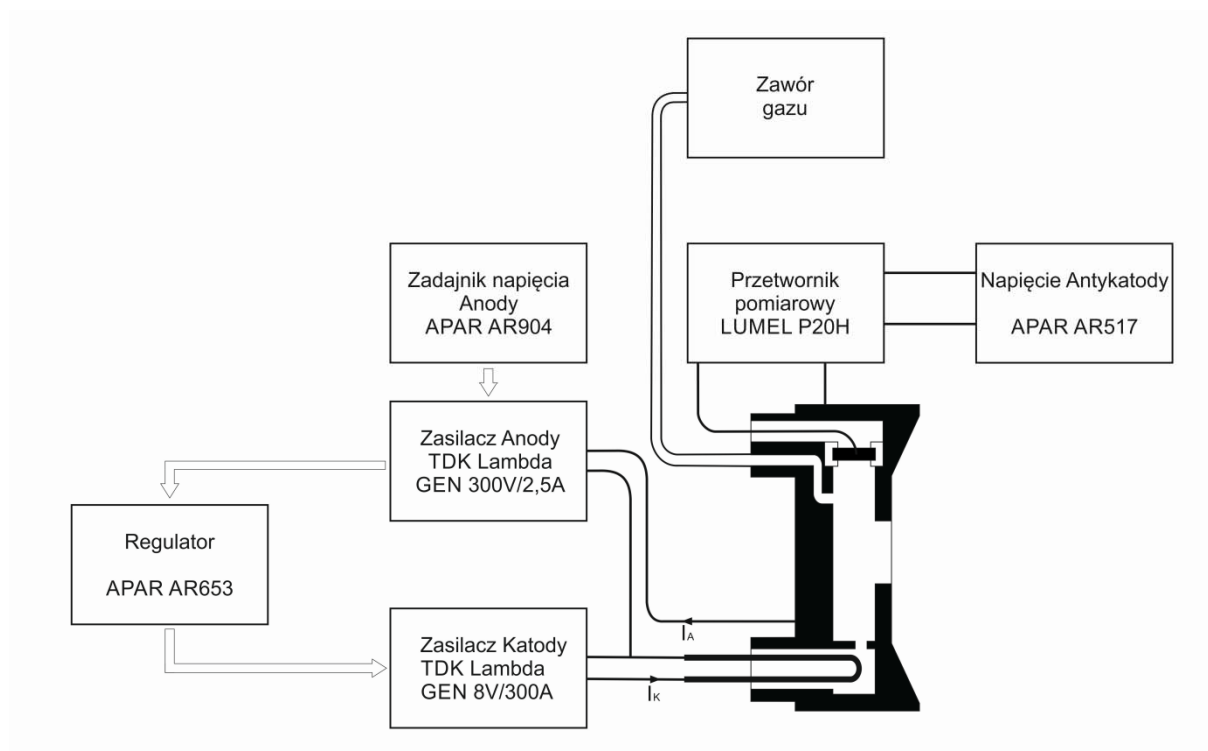


Rysunek 10. Stary Stabilizator Źródła Jonów.



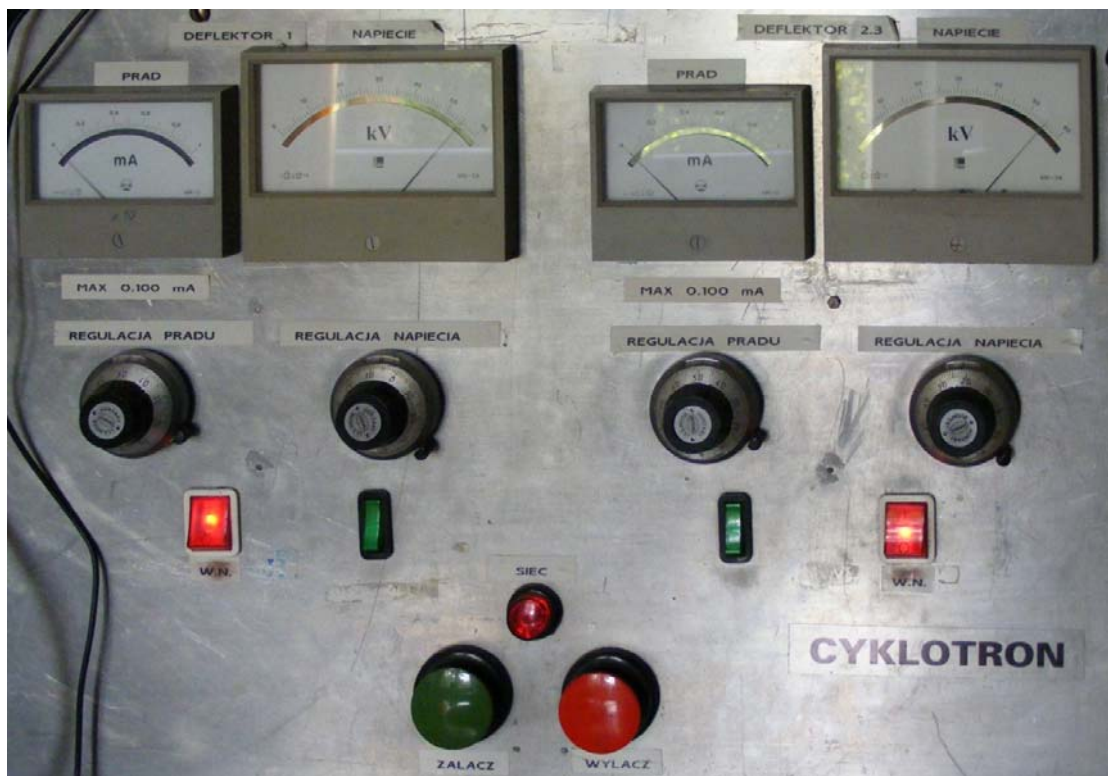
Rysunek 11. Nowy regulator Źródła jonów na pulpicie Cyklotronu AIC-144

Schemat blokowy nowego sterowania przedstawia rysunek 12. Regulacja prądu wiązki odbywa się za pomocą zmiany prądu katody I_k , przy czym stabilizowanym parametrem jest prąd anodowy I_A . Sterowanie odbywa się przy stałym napięciu anodowym.



Rysunek 12. Schemat blokowy sterowania Źródłem Jonów.

Wymiana zasilaczy Deflektorów była uwarunkowana koniecznością zabezpieczenia przed awarią starych 15-letnich urządzeń. W chwili obecnej posiadamy po jednym zapasowym zasilaczu przypadającym na każdy Deflektor, a przełączenie w przypadku awarii nie zajmie dłużej niż 15 minut, co ma kluczowe znaczenie dla terapii ocznej. [10, 11, 12, 13]. Nowy układ sterowania na pulpicie zapewnia zdalną obsługę urządzeń i precyzyjną kontrolę napięcia. Stary i nowy system sterowania przedstawiają kolejno rysunki 13 i 14.



Rysunek 13. Stary układ sterowania zasilaczami deflektorów na pulpicie Cyklotronu AIC-144.



Rysunek 14. Widok nowego układu sterowania zasilaczami deflektorów na pulpicie Cyklotronu AIC-144.

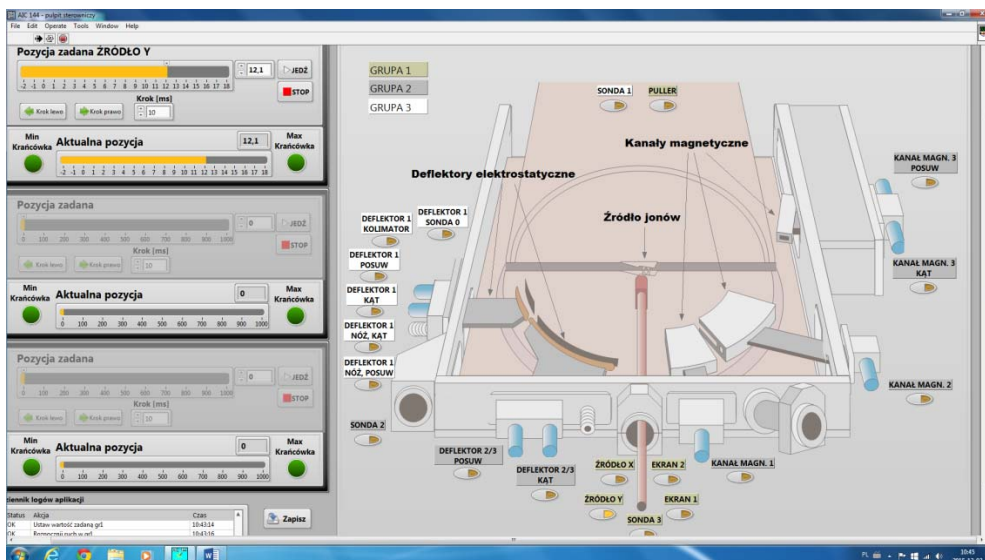
System sterowania silnikami i serwomechanizmami Cyklotronu AIC-144 składa się obecnie z dwóch elementów:

- Oprogramowania spełniającego rolę pulpitu sterowniczego.
- Szaf sterowniczych SSN (szafa sterowania napędami) i SKN (szafa komutatora napędów) oraz sterownika PLC.

System komputerowy zastąpił stary pulpit sterowniczy zwany przez operatorów „fortepianem” ze względu na swoje charakterystyczne kształty (rysunek 15 i 16). Za jego pomocą operator zmienia położenie kluczowych elementów mechaniki cyklotronu. Program umożliwia odczyt i regulację pozycji napędów a także posiada „Dziennik Logów”, czyli rejestr w którym zapisywany jest każdy ruch wykonywany przez operatora.

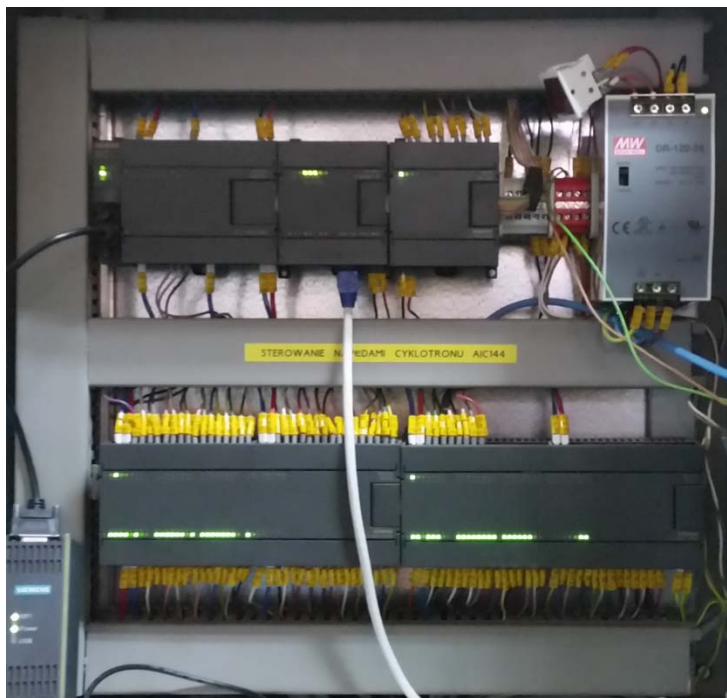


Rysunek 15. Stary pulpit sterowniczy do obsługi napędów Cyklotronu AIC-144.



Rysunek 16. Obecnie działający program do obsługi napędów Cyklotronu AIC-144 (autorstwa Damiana Wojasa).

Program współpracuje z systemem automatyki wykonawczej wykorzystującej sterownik PLC Siemens 200 (rysunek 17) oraz instalacje szaf elektrycznych SSN i SKN (rysunek 18).



Rysunek 17. Sterownik PLC do sterowania napędami zaprogramowany dla potrzeb Działu Cyklotronu AIC-144 przez pracownika DAI Wojciecha Kochańskiego.



Rysunek 18. Szafy sterownicze systemu sterowania silnikami i serwomechanizmami Cyklotronu AIC-144.

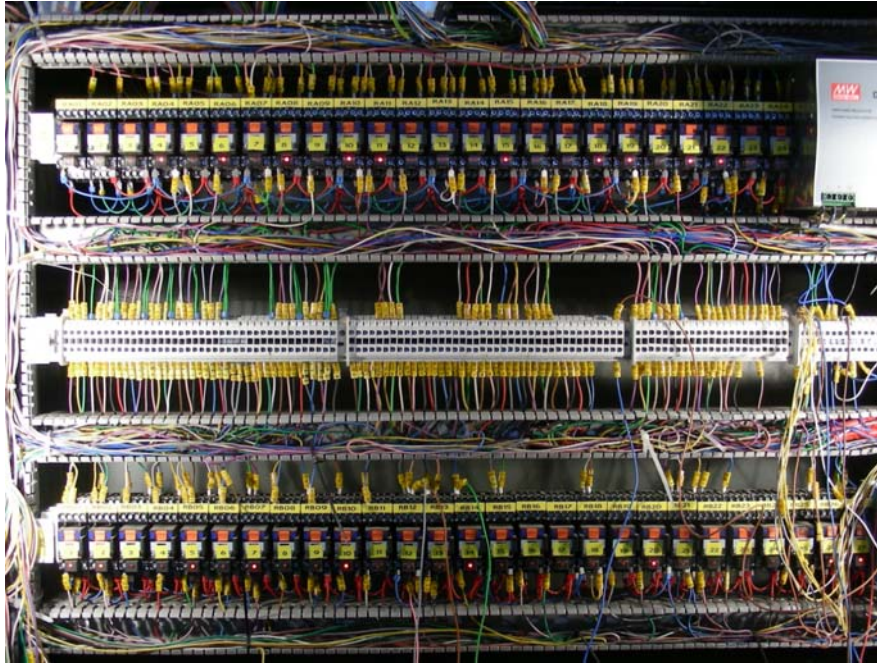
Rozdział 4. Sterowanie serwomechanizmami cyklotronu AIC-144 (panel operatora)

Panel sterowania działaniem cyklotronu umieszczony jest w na pulpicie w sterowni cyklotronu (rysunek 19).



Rysunek 19 Nowy panel sterownia cyklotronem.

W wyposażenie panelu wchodzi przyciski sterowania i sygnalizacji pozycji drzwi hal (cyklotron, stara hala, nowa hala), blokady w/w. drzwi oraz drzwi do pokoju terapii. Na tym panelu umieszczono też przyciski sterowania i sygnalizacji tarcz pomiarowych, telewizyjnych, szatera i odcinacza wiązki, czyli wszystkich elementów umieszczonych w ciągu jonowodu i służących do kontroli wiązki protonów. Sterowanie kształtem wiązki i jej biegiem w jonowodzie odbywa się za pomocą osobnych programów komputerowych (magnesy odchylające) lub pulpitu opisanego w poprzednim rozdziale (deflektory, kanały magnetyczne, pozycja źródła jonów). Na tym panelu znajdują się również kontrolki sygnalizujące obecność napięć sterujących, sprężonego powietrza oraz stanu pracy cyklotronu. Przekładniki sterujące tymi mechanizmami znajdują się w tylnej części pulpitu cyklotronu (rysunek 20).

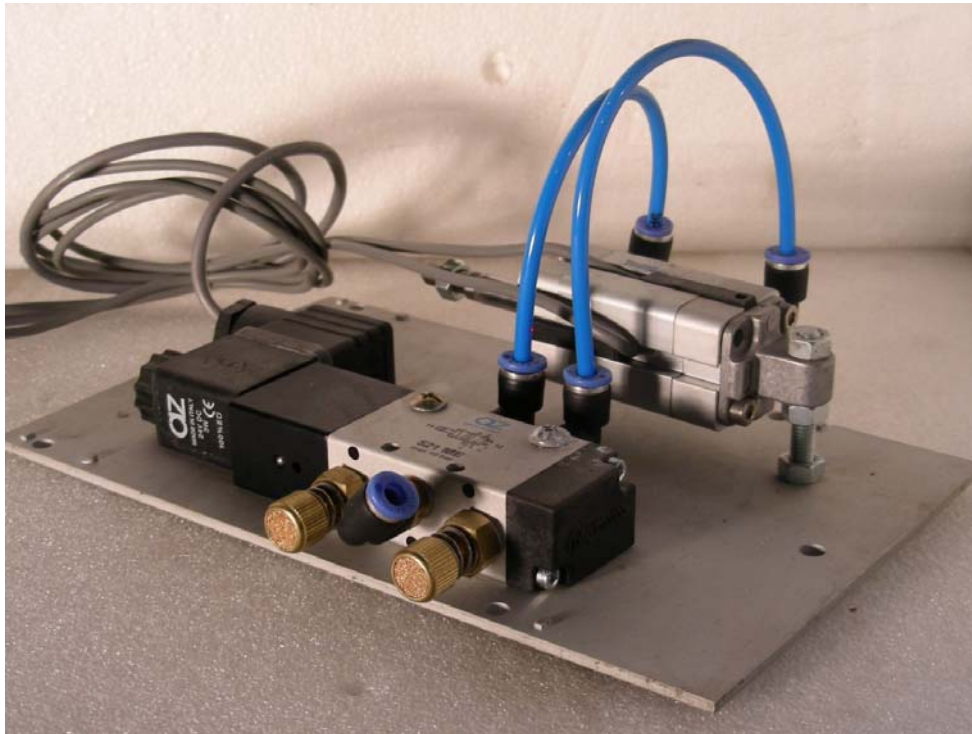


Rysunek 20. System przekaźników sterujących mechanizmami.

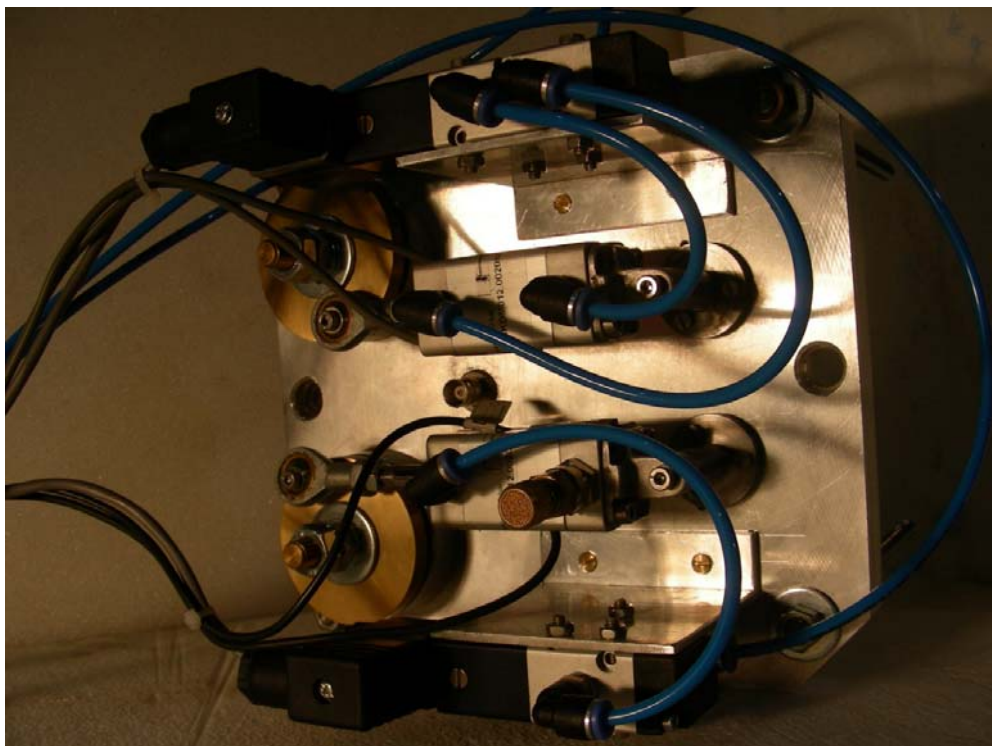
Ponieważ w przyszłości zaplanowana jest zmiana położenia panelu sterującego wykonano połączenia przycisków i kontrolki z przekaźnikami za pomocą trzech gniazd i wtyków D-SUB 50 Harting umożliwiających przeniesienie sterowania bez destrukcji obecnej instalacji.

Dalszą drogą zmian jest zastosowanie pneumatycznych napędów w układzie kontroli wiązki (tarcz pomiarowych, telewizyjnych, szatera i odcinacza wiązki na starej hali) w miejsce elektromagnetycznych. Powodem tej zmiany jest fakt że dotychczasowy system powstał w latach 80-tych, a obecnie jako mocno wyeksploatowany generuje problemy objawiające się takim zjawiskami jak zacinać się tarcz w trudnej do określenia pozycji czy też nieszczelności na przepustach mechanicznych pogarszające poziom próżni w jonowodzie.

Dotychczas wykonano instalację sprężonego powietrza rozprowadzoną do wszystkich zaworów sterujących siłownikami oraz napędy pneumatyczne do tarcz pomiarowych (rysunek 21) i szatera (rysunek 22). Kompresor zasilający instalację sprężonego powietrza znajduje się w starej hali pomiarowej. W tej samej lokalizacji znalazły się połączenia elektryczne do wszystkich siłowników (sterowanie elektrozaworami siłowników pneumatycznych i zbieranie sygnałów z wyłączników krańcowych) Połączenia z poszczególnymi halami wykonano używając skrzynek pośredniczących.



Rysunek 21. Napęd do tarczy pomiarowej.



Rysunek22. Pokrywa szatera z napędem pneumatycznym.

Zlikwidowano również szafy sterujące napędami drzwi obrotowych (rysunek 23) przed wejściem do hali cyklotronu i zastąpiono kilkoma niewielkimi rozdzielnicami z nowoczesnym wyposażeniem (rysunek 24).



Rysunek 23. Widok starych szaf sterowniczych.



Rysunek 24. Pomieszczenie z nowymi rozdzielnicami.

Kontynuacją zmian była likwidacja skrzynek sterujących drzwiami obrotowymi (rysunek 25) i zastąpienie ich nowoczesnymi. (rysunek 26).



Rysunek 25 stara skrzynka sterująca drzwiami.



Rysunek 26. Nowa skrzynka sterująca.

Zrealizowano nowy system blokad cyklotronu (zależności pracy generatora, źródła jonów od pozycji szatera, odcinacza wiązki i blokad drzwi) według algorytmu projektu Konrada Guguły.

Rozdział 5. Układ detekcji wystąpienia wycieku w systemie chłodzenia

Praca cyklotronu AIC-144 na potrzeby terapii protonowej wykazała konieczność ciągłej pracy wybranych urządzeń akceleratora bez nadzoru. Nad prawidłowym funkcjonowaniem tych urządzeń czuwa system bezpieczeństwa. Pracownicy AIC-144 każdego roku kontynuują modernizację systemu tak aby pojawiające się nowości w zakresie automatyki i elektroniki usprawniły funkcjonowanie akceleratora. Praktyka pokazała konieczność rozbudowy systemu o układ detekcji wycieku destylatu.

W poprzednim okresie doszło do utraty szczelności systemu chłodzenia, wycieku znacznej ilości medium chłodzącego i zalania pomieszczeń korytarza znajdującego się pod cyklotronem. Zdecydowano się na wprowadzenie systemu informującego o wystąpieniu wycieku a tym samym umożliwiającą wczesną diagnozę nieszczelności a także zabezpieczenie przed zalaniem oraz utratą znacznych ilości wody demineralizowanej.

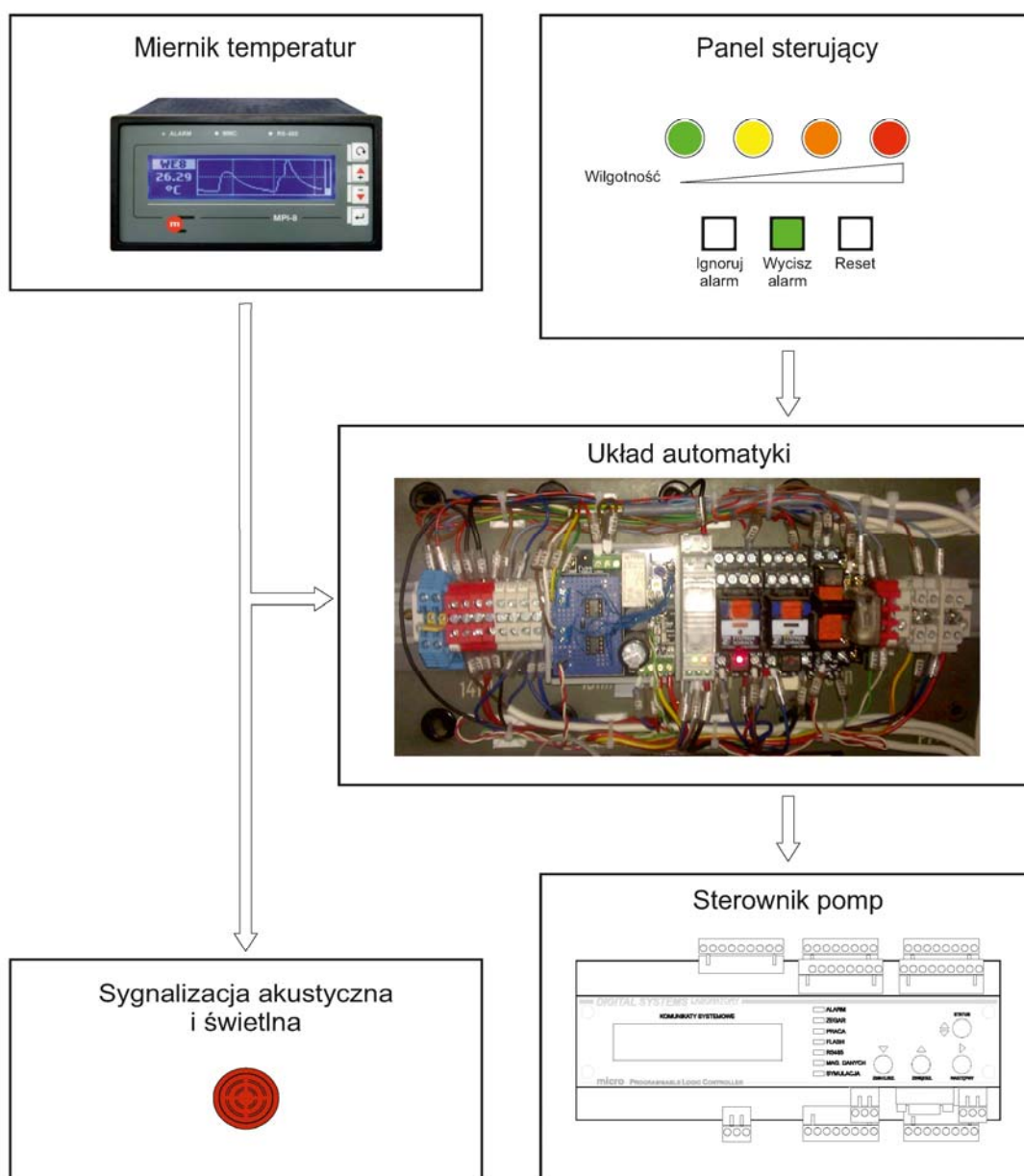
Budowa systemu oparta jest o wykorzystanie gotowego rozwiązania firmy Sontay o nazwie WD-AMX-1 wraz z czujnikiem WD-CS[8,9]. Są one przedstawione na rysunku 27.



Rysunek 27. Detektor wycieku wody WD-AMX-1 firmy Sontay wraz z czujnikiem WD-CS.

Czujnik został rozwinięty w strategicznych miejscach, w których występuje największe ryzyko wycieku. Należą do nich kanały kablowe wokół cyklotronu i stopnia mocy Generatorsa Wysokiej Częstotliwości a także korytarz znajdujący się pod halą cyklotronu. Samo urządzenie pozwala na detekcję wycieku w skali trzystopniowej, którą można regulować. Dwa pierwsze poziomy wykorzystano do wczesnej detekcji drobnych wycieków, natomiast ostatni wyzwala alarm oraz przekaźnik sterujący. System detekcji wycieku wykorzystuje styki przekaźnika do wysterowania blokady pomp obiegu destylatu.

Zadziałanie blokady jest jednak uwarunkowane od stanu pracy cyklotronu. W przypadku gdy, cyklotron pracuje pod kontrolą personelu system detekcji poinformuje operatorów o wycieku za pomocą alarmu dźwiękowego. Natomiast w przypadku pracy cyklotronu bez kontroli nastąpi wyłączenie pomp. Sposób działania systemu warunkuje załączenie generatora wysokiej częstotliwości co jest jednoznaczne z kontrolą personelu. Schemat poglądowy przedstawia rysunek 28.



Rysunek 28. Schemat poglądowy systemu detekcji wycieku.

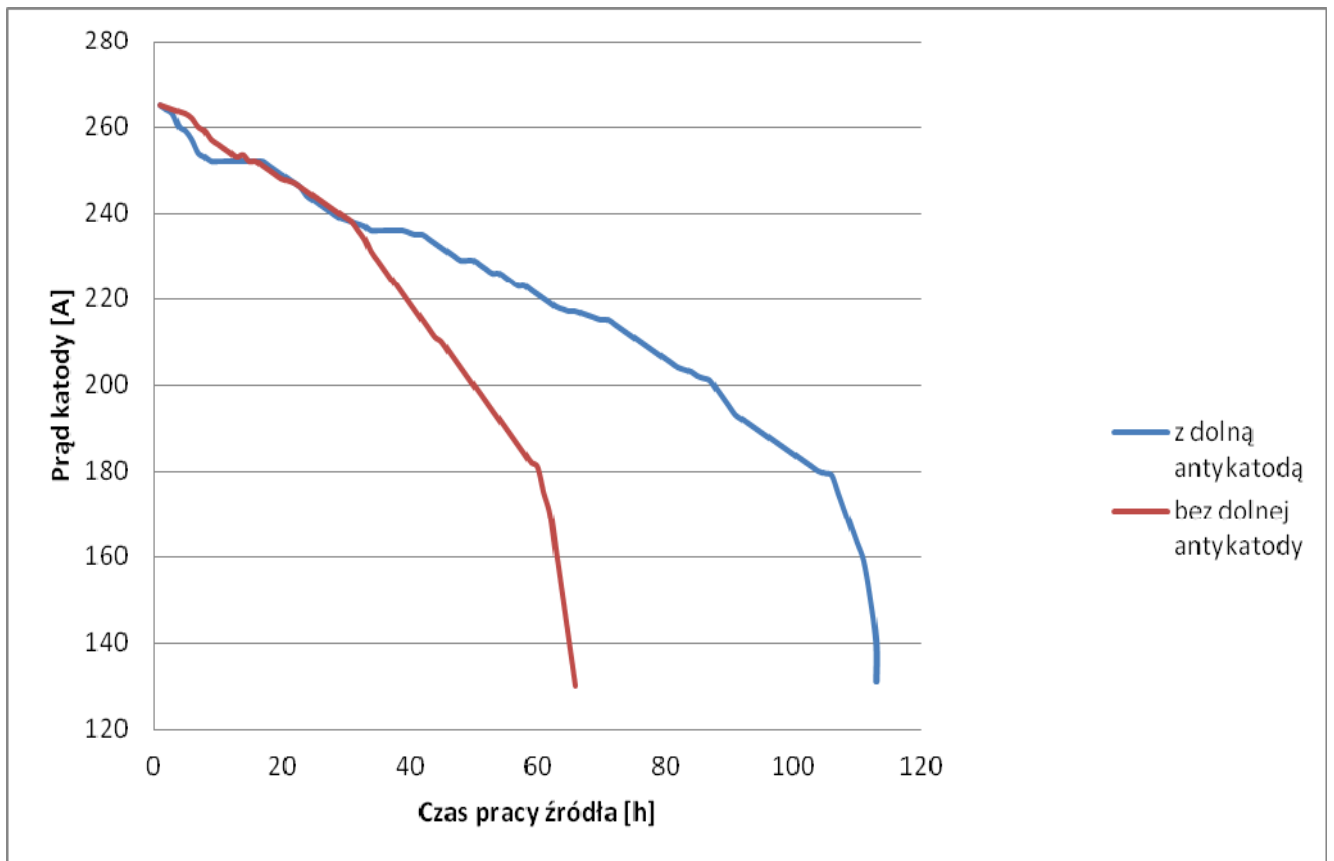
Działanie układu zabezpieczeń jest niezawodne, ponieważ w przypadku uszkodzenia czujnika wilgotności załączy się alarm i blokada. Jak widać na schemacie system detekcji wycieku współpracuje z systemem monitoringu temperatur. Zbyt niska temperatura medium

chłodzącego również powoduje zatrzymanie pomp obiegu wody demineralizowanej oraz dodatkowo wyzwała alarm akustyczny i świetlny. Układ automatyki wystawia sygnał przerwania do sterownika pomp z opóźnieniem w stosunku do sygnalizacji na panelu sterującym dzięki temu przypadkowe zakłócenia nie spowodują zatrzymania chłodzenia i wyłączenia zasilaczy.

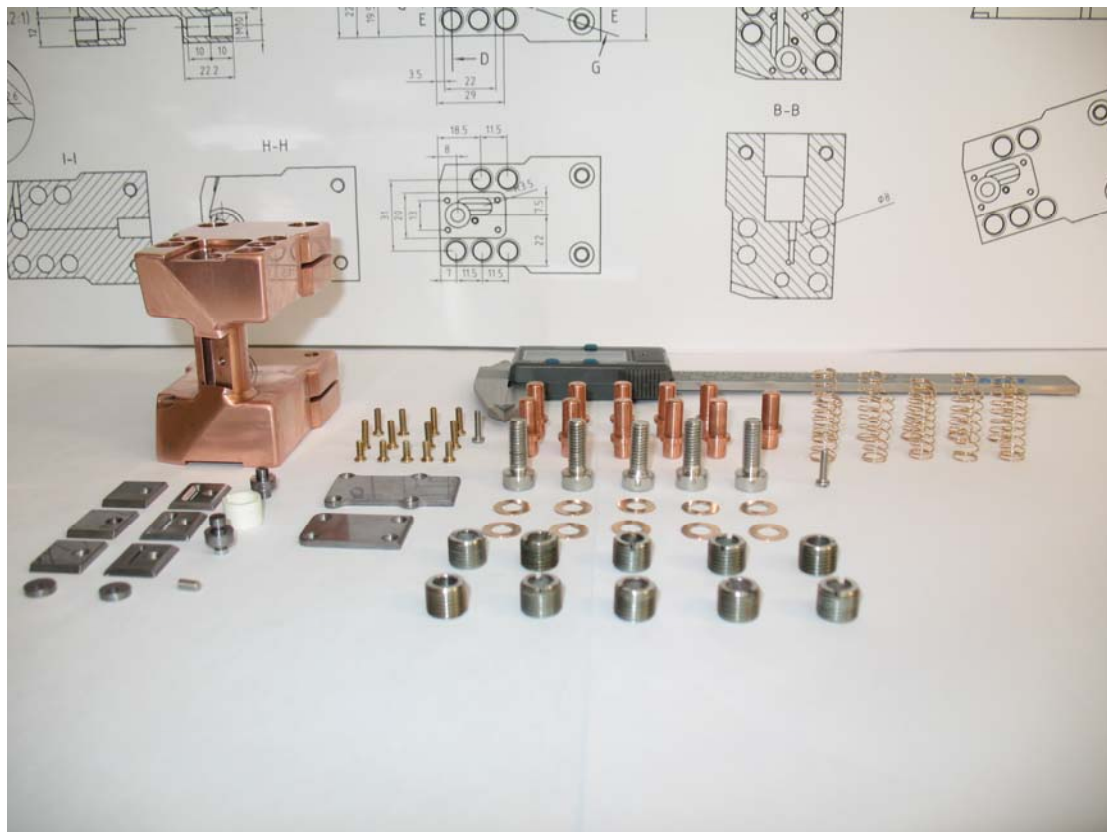
Rozdział 6. Przebudowa źródła jonów

Aby przedłużyć żywotność katody a co za tym idzie komfort pracy na wiązce, w dolnej części komory jonizacyjnej w źródle jonów zainstalowano „antykatołę” z tantalu osadzoną na podstawce izolacyjnej wykonanej z odpornego na wysoką temperaturę azotku boru (rysunek 29 – 32). Na wybór niniejszego materiału miała wpływ nie tylko wysoka odporność na temperaturę (ok. 2400 °C) jak również łatwa obróbka mechaniczna surowca. Pozwoliło to na poprawę pracy źródła polegającej na :

- Wydłużeniu żywotności katody (rysunek 29) z której wynika iż czas jej pracy wzrósł o 60 %, przeliczając dane z dzienników pracy cyklotronu, z 2325 do 3876 mAh.
- Zmniejszeniu wartości prądu oraz objętości podawanego wodoru potrzebnego do emisji zadanej ilości protonów w procesie jonizacji.
- Ograniczenie ryzyka występowania zwarcia w komorze jonizacyjnej źródła jonów do masy.



Rysunek 29. Spadek prądu katody w czasie pracy źródła jonów.



Rysunek 30. Widok ogólny części składowych główki źródła jonów.



Rysunek 31 Główna źródła jonów rzut boczny



Rysunek 32. Główna źródła jonów – na pierwszym planie dolna antykatoda w izolatorze.

Rozdział 7. Metody i narzędzia jakości wykorzystywane na Cyklotronie AIC-144

Macierz analizy danych jest jednym z narzędzi zarządzania jakością. Sprawdza się ona do określenia zależności pomiędzy grupami informacji powiązanych funkcjonalnie. Jej głównym zadaniem jest klasyfikacji elementów, które charakteryzują się identyfikacją dwóch głównych charakterystyk. Wprowadza się następnie wykres układu XY uzyskanych wyników. Najczęściej stosuje się wielowariantowe analizy danych. Dodatkowo wykres macierzowy pokazuje związek pomiędzy zmiennymi jakościowymi bez określenia ich kierunku.

W dziale Cyklotronu AIC-144 został wykonany diagram macierzowy klasyfikujący zależności pomiędzy zmiennymi. Zostało przyjęte, że:

+ silna relacja

■ średnia relacja

- słaba relacja

Dodatkowo zapisano, że:

A_1 - spadek napięcia	B_1 -awaria oprogramowania	C_1 -zła konfiguracja oprogramowania
A_2 -wyciek wody	B_2 -nieaktualne oprogramowanie	C_2 -brak odpowiedniej konserwacji
A_3 - zwarcie instalacji	B_3 - awaria komputera sterującego	C_3 - nieodpowiednie ustawienie kalibracji
A_4 - przepalenie katody	B_4 - brak komunikacji między komputerem a zasilaczem	C_4 - niedopilnowanie zamknięcia blokad

Diagram macierzowy zilustrowano poniżej.

B_1	■	.	■	-
B_2	-	-	■	-
B_3	■	-	-	-
B_4	+	-	-	-
X	A_1	A_2	A_3	A_4

C_1	-	-	-	-
C_2	■	+	+	-
C_3	■	-	■	+
C_4	+	-	+	-
X	A_1	A_2	A_3	A_4

C_1	+	+	■	+
C_2	+	+	-	-
C_3	+	-	■	■
C_4	+	-	-	-
X	B_4	B_3	B_2	B_1

Kategoryzując otrzymane zależności sporządzono 7 głównych rodzajów przypadków wystąpienia elementów mogących mieć wpływ na awaryjność Cyklotronu AIC-144. Przyjęto, że miarą będzie prawdopodobieństwo wystąpienia wady w bieżącym roku na podstawie diagramu macierzowego. Zebrane dane przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 3 Dane użyte do obliczeń.

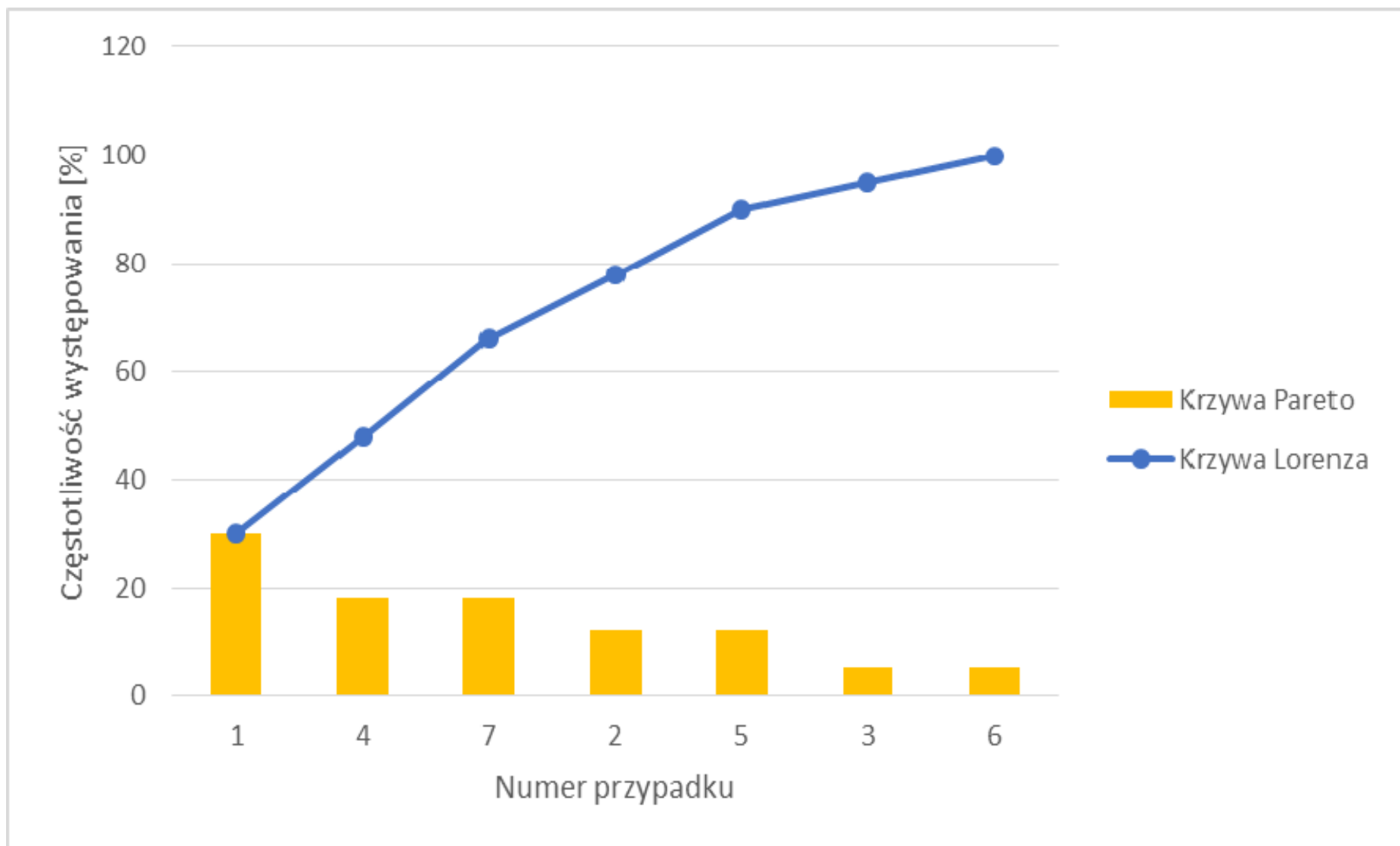
Nr.	Nazwa	Przypadki
1	spadek napięcia	5
2	wyciek wody	2
3	zwarcie instalacji	1
4	przepalenie katody	3
5	brak komunikacji między komputerem a zasilaczem	2
6	awaria komputera sterującego	1
7	niedopilnowanie zamknięcia blokad	3

Dane uporządkowano według ważności ich oddziaływania. Następnie obliczono przynależność procentową oraz liczbę względną skumulowaną (Tabela 4).

Tabela 4. Przyczyny z wadami.

Nr.	Nazwa	Przypadki	Liczba względna [%]	Liczba względna skumulowana [%]
1	spadek napięcia	5	30	30
4	przepalenie katody	3	18	48
7	nieodpowiednie zamknięcia blokad	3	18	66
2	wyciek wody	2	12	78
5	brak komunikacji między komputerem a zasilaczem	2	12	90
3	zwarcie instalacji	1	5	95
6	awaria komputera sterującego	1	5	100
	razem	17	100	

Na danych wykonano diagram – wprowadzono krzywą Pareto (liczba względna) oraz krzywą Lozenza (liczba względna skumulowana). Przyczyny uszeregowane są malejąco, czego skutkiem jest, że krzywa Lorenza jest wklęsła (rysunek 33).



Rysunek 33. Diagram Pareto-Lorenza.

Konsekwencją zastosowania diagramu Pareto-Lorenza jest otrzymanie grupy przyczyn elementów, które wpływają najsilniej na prawidłowe działanie Cyklotronu AIC-144. Najmocniej oddziałują 3 spośród 7 wad, co jest zauważalne na rysunku 31. Dlatego też należy starać się wyeliminować je. W TQC (*Total Quality Control*) wszystkie procesy podporządkowane są kontroli. Dział Cyklotronu AIC-144 eliminuje zjawiska zmniejszające jakość. Ważna jest praca zespołowa, zaangażowanie personelu oraz redukcja błędów.

Aby wykluczyć wady wynikające z pracy na stanowisku, czyli te 3 przypadki, które oddziałują najsilniej wprowadzono działania zapobiegawcze związane z systemem zarządzania jakością. System ten oparty jest na normie PN-EN ISO 9001:2008. Na bieżąco dokumentacja jest aktualizowana oraz opracowywane i wprowadzane są nowe procedury i instrukcje techniczne. Dodatkowo, żeby wykluczyć przyczyny są tworzone innowacyjne rozwiązania oraz modernizowane są poszczególne elementy Cyklotronu.

Bibliografia.

- [1] Daniel K., Cieślik R., Guguła K. i inni: Przystosowywanie cyklotronu AIC-144 do protonowej radioterapii oka. Część 4. Poprawa jakości próżni w komorze cyklotronu, usprawnienie systemu sterowania traktem wiązki, zmniejszenie obciążeń zmęczeniowych komory akceleracji. Raport Nr 2023/AP. IFJ PAN, Kraków 2008
- [2] Softrade. Dokumentacja Techniczna –System utrzymywania i kontroli próżni w komorze cyklotronu i na trakcie wiązki. 2008.
- [3] Fluke Corporation. Fluke 434-II/435-II/437-II Trójfazowy analizator jakości energii. Podręcznik użytkownika. Styczeń 2012 rev.1 06/12.
- [4] Metronic AKP. MPI-8 Ośmiokanałowy rejestrator elektroniczny. Instrukcja obsługi. 22 lipca 2010.
- [5] G-TEC. Model Dokumentacja Techniczno-Rozruchowa UPS. Miejsce ,2015
- [6] Mały UPS
- [7] Damian Wojas. Skrócony opis obsługi aplikacji do sterowania napędami cyklotronu AIC-144. IFJ PAN, Kraków 2015.
- [8] <https://www.sontay.com/media/specs/WD-AMX.pdf>
- [9] <https://www.sontay.com/media/specs/WD-xS.pdf>
- [10] Eksploatacja Cyklotronu AIC-144 przystosowanego do celów medycznych, Raport Nr 2065/AP, Kraków 2013
- [11] Olko P.: Projekt Narodowego Centrum Radioterapii Hadronowej. Seminarium Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademia Górniczo Hutnicza, Kraków 29 luty 2008
- [12] Swakoń J., Olko P.: Stanowisko do radioterapii protonowej nowotworów oka w IFJ PAN, Materiały Konferencyjne z IX Sympozjum: Modelowanie i Pomiar w Medycynie 10-14 maj 2009, Krynica 2009
- [13] Michalec B., Swakoń J., Sowa U. i inni: Proton radiotherapy facility for ocular tumors at the IFJ PAN in Krakow Poland. Applied Radiation and Isotopes vol. 68, 2010, 738-742
- [14] Domżał-Otmianowska G., Wpływ zarządzania jakością w publicznej służbie zdrowia na poziomie usług medycznych, Zeszyty Naukowe Akademii Podlaskiej w Siedlcach
- [15] Czech M., Podejmowanie decyzji w medycynie, Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa 6/2007, IOiZwP „ORGMASZ”, Warszawa, 2007.

- [16] Hamrol A., Mantura W., Zarządzanie jakością - Teoria i praktyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Poznań 1999
- [17] Hamrol A., Mantura W., Zarządzanie jakością - Teoria i praktyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- [18] Opolski K., Dykowska G., Moździonek M., Zarządzanie przez jakość w usługach zdrowotnych. Teoria i praktyka. CeDeWu, Warszawa 2003.