

**INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ  
im. Henryka Niewodniczańskiego  
Polskiej Akademii Nauk  
ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków**

www.ifj.edu.pl/publ/reports/2017/

Kraków, grudzień 2017

---

**Raport Nr 2100/AP**

**Eksplatacja Cyklotronu AIC-144  
przystosowanego do celów medycznych cz. 4  
Sprawozdanie za lata 2016 – 2017**

Paweł Bogdali<sup>1</sup>, Jacek Sulikowski<sup>1</sup>, Artur Sroka<sup>1</sup>, Agnieszka Rogóż-Duda<sup>1,2</sup>

Robert Cieślak<sup>1</sup>, Krzysztof Daniel<sup>1</sup>, Ryszard Grzybek<sup>1</sup>, Grzegorz Janik<sup>1</sup>, Bogdan Lipka<sup>1</sup>,  
Janusz Molęda<sup>1</sup>, Tomasz Nowak<sup>1</sup>, Wojciech Pyzioł<sup>1</sup>, Marek Ruszel<sup>1</sup>, Bogusław Sałach<sup>1</sup>,  
Maciej Sumera<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego, PAN, Kraków

<sup>2</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Zarządzania, Kraków

Abstract:

In 2016, eye therapy was transferred to the new Proteus-235 cyclotron. The work of Cyclotron AIC-144 has become research and development. Reducing the demand for a proton beam has contributed to significant advances in the modernization of the device.

This report shows the current status of the cyclotron and presents the work that was made in 2016 and 2017: modernization of the control panel, reconstruction of the irradiation station in the experimental hall and a new program for controlling the power supplies.

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b> .....	3
<b>2</b>	<b>Modernizacja pulpitu sterowniczego</b> .....	4
2.1	Historia pulpitu cyklotronu AIC-144.....	4
2.2	Projekt nowego pulpitu.....	7
<b>3</b>	<b>Przebudowa stanowiska do napromieniania wiązką protonów na hali eksperymentalnej</b> .....	12
<b>4</b>	<b>Nowy program do sterowania zasilaczami</b> .....	14
4.1	Obiekt sterowany.....	14
4.2	Założenia programu.....	16
4.3	System sterowania.....	17
4.4	Interfejs użytkownika.....	17
4.5	Realizacja programu .....	20
<b>5</b>	<b>System Zarządzania Jakością</b> .....	20
<b>6</b>	<b>Bibliografia</b> .....	24

# 1 Wstęp

W związku z przeniesieniem terapii oka w 2016 roku, na nowo powstały w ramach CCB akcelerator Proteus-235 praca cyklotronu AIC-144 nabrała charakteru badawczo-naukowego. Dodatkowo do czasu wygaśnięcia umowy ze Szpitalem Uniwersyteckim w Krakowie cyklotron AIC-144 będzie traktowany jako urządzenie zastępcze do prowadzenia terapii hadronowej. Zmniejszenie zapotrzebowania na wiązkę protonową przyczyniło się do znacznych postępów w pracach modernizacyjnych urządzenia. Działalność personelu Działu Cyklotronu AIC-144 skupiła się na przebudowie pulpitu sterowniczego i kontynuacji budowy stanowiska do prowadzenia eksperymentów z wykorzystaniem wiązki protonowej.

W latach 2016 - 2017 wykorzystywano poziomą wiązkę protonów do napromieniania materiałów biologicznych, tkanek wątroby dawkami 10Gy, 30Gy oraz 500Gy w ramach współpracy z Zakładem Fizyki Jądrowej Uniwersytetu Warszawskiego. Ponadto wykorzystywano wiązkę do napromieniania związanych z przestrzennie frakcjonowaną radioterapią protonową. Dla Zakładu Fizyki Radiacyjnej i Dozymetrii prowadzono napromienianie kryształów fluorku litu LiF oraz detektorów LiMgPO<sub>4</sub>.

Kontynuując współpracę z Zakładem Fizykochemii Jądrowej IFJ PAN wykonano 26 sesji aktywacji ośmiu rodzajów izotopów przedstawionych w Tabeli 1.

**Tabela 1. Wykaz aktywowanych izotopów.**

<i>Lp.</i>	Materiał naświetlany	Główny nuklid powstały w wyniku reakcji
1	Bismut [Bi]	Polon [ <sup>210</sup> Po]
2	Tlenek Tantal [ Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ]	Wolfram [ <sup>181</sup> W]
3	Potasu jodek [KI]	Jod [ <sup>123</sup> I]
4	Rubidu Azotan [RbNO <sub>3</sub> ]	Stront [ <sup>85</sup> Sr]
5	Węglan Wapnia [CaCO <sub>3</sub> ]	Skand[ <sup>47</sup> Sc, <sup>48</sup> Ca]
6	Tlenek Wapnia [CaO]	Skand[ <sup>43</sup> Sc]
7	Tantal [Ta]	Wolfram [ <sup>181</sup> W]
8	Żelazo [ Fe]	Kobalt [ <sup>56</sup> Co ]

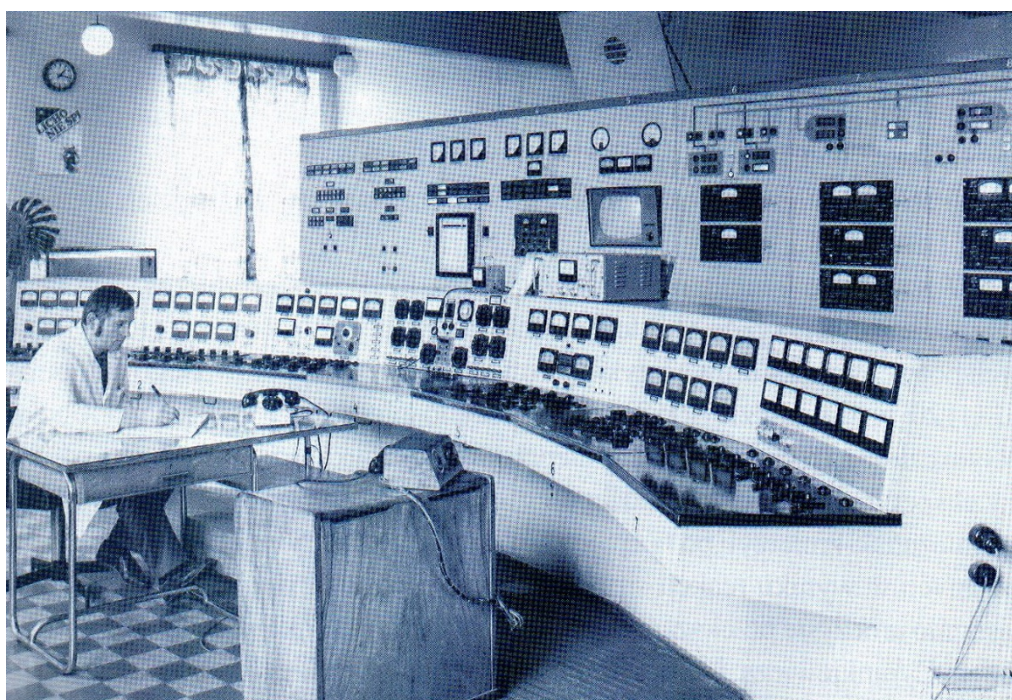
Pełna dyspozycyjność cyklotronu AIC-144 do podjęcia terapii oczonej była potwierdzana regularnymi testami eksploatacyjnymi. Liczba godzin pracy z wiązką akceleratora na potrzeby użytkowników oraz utrzymania ruchu wynosiła:

- 604 w 2016 roku,
- 466 w 2017 roku.

## 2 Modernizacja pulpitu sterowniczego

### 2.1 Historia pulpitu cyklotronu AIC-144

Pulpit cyklotronu AIC-144 powstał na bazie pulpitu starego cyklotronu U-120. Rysunek 1 przedstawia zdjęcie dawnej sterowni U-120 wykonane w latach 60-tych. Instalacja akceleratora AIC-144 na stanowisku roboczym została wykonana w latach 1995-1998. Urządzenia potrzebne do jego sterowania znalazły miejsce w konstrukcji starego pulpitu. Część urządzeń pozostawiono w niezmienionej formie np. system próżniowy (panele z czarną płytą czołową) widoczny na drugim planie fotografii przedstawionej na rysunku 2.



Rysunek 1. Fotografia przedstawiająca pulpit cyklotronu U-120.



*Rysunek 2. Fotografia przedstawiająca pulpit cyklotronu AIC-144 w 2004 roku.*

Eksploatacja cyklotronu AIC-144 przez kolejne lata oraz przystosowanie tego urządzenia do celów medycznych przyniosła kolejne zmiany w wyglądzie i działaniu pulpitu sterowniczego [1, 2, 3, 4, 5]. W pierwszej kolejności można zaobserwować zastosowanie znacznej ilości monitorów przedstawionych na rysunku 3. Ma to związek z zastosowaniem technologii cyfrowej do sterownia cyklotronem. Mierniki analogowe zostały zastąpione komputerowymi systemami pomiarowymi. Praktycznie całe sterownie urządzeniami zostało sprowadzone do pierwszego planu pulpitu. Na drugim planie pozostał interfejs systemu próżniowego, sterownie stopniem mocy generatora wysokiej częstotliwości a także wybrane elementy systemu bezpieczeństwa.

Obecnie prowadzone prace mają na celu zintegrowanie systemów sterowania cyklotronu przy zachowaniu:

- jednolitej oprawy graficznej pulpitu
- ciągłości dostępu do pracy z wiązką protonową
- możliwości przebudowy
- jakości pracy urządzenia
- podziału funkcji poszczególnych pól pulpitu



Rysunek 3. Fotografia przedstawiająca pulpit cyklotronu AIC-144 w 2015 roku.

Jak już wspomniano prace restauracyjne były wykonywane w sposób niewywołujący przerw w dostępie dla użytkowników wiązki protonowej. Przyjęte założenia wprowadzały szereg ograniczeń czasowych oraz wymuszały konieczność przeprowadzania remontu etapami.

W poprzednich latach udało się odrestaurować pola pulpitu sterowniczego służące do:

- sterowania deflektorami [8]
- sterowania źródłem jonów [8]
- systemu kontroli dostępu i monitoringu wiązki [8]

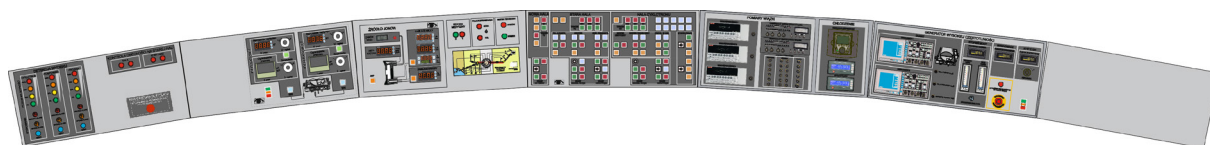
Lata 2016 i 2017 to okres ostatnich modernizacji pulpitu. Efektem przeprowadzonych prac są przebudowane pola z zainstalowanymi systemami:

- alarmowania i ostrzegania,
- sterowania generatorem wysokiej częstotliwości,
- pomiarów i monitoringu akcelerowanej wiązki protonów.

Oprócz zmian na pulpicie pojawiają się również zmiany w oprogramowaniu sterującym, np. instalacja stworzonego w IFJ oprogramowania służącego do sterowania pracą zasilaczy Cyklotronu.

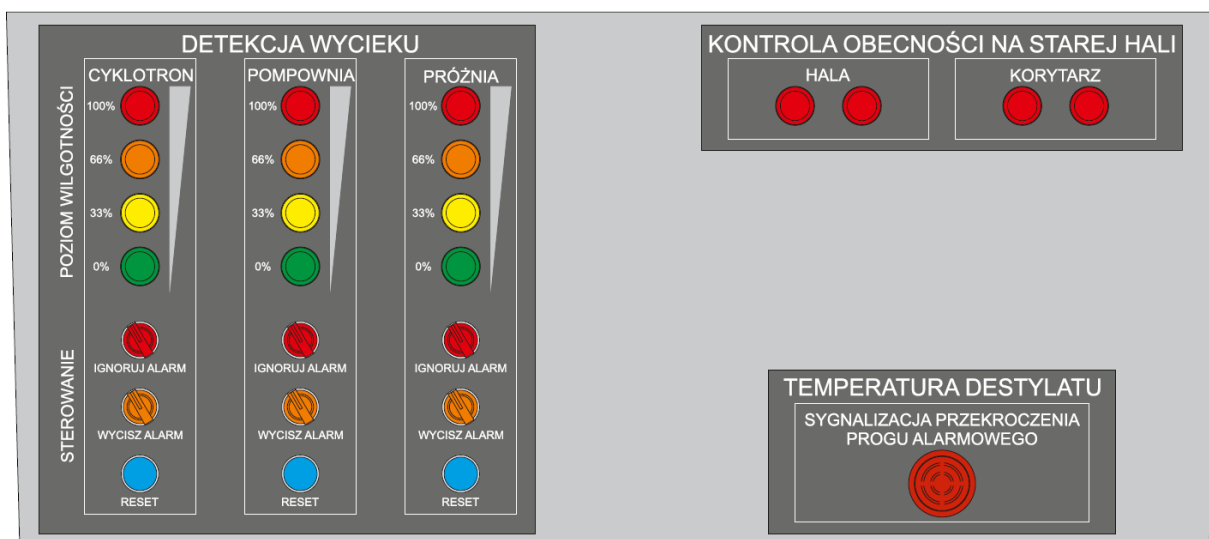
## 2.2 Projekt nowego pulpitu

Prześledźmy zatem bardziej szczegółowo etapy zmian na pulpicie Cyklotronu AIC-144. Prace prowadzone były w oparciu o projekt graficzny opracowany w Dziale Cyklotronu AIC-144. Wizualizację pulpitu zgodnie z projektem przedstawia rysunek 4.



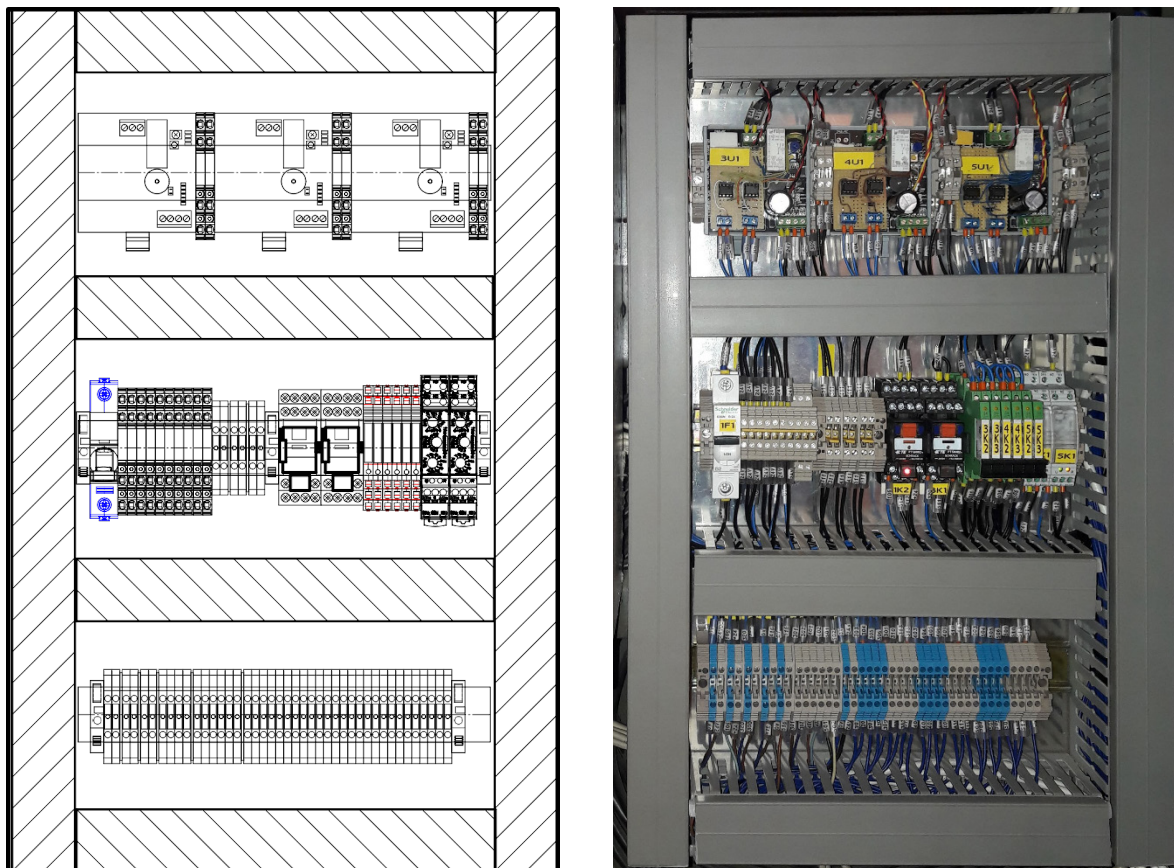
Rysunek 4. Wizualizacja pulpitu Cyklotronu AIC-144 na potrzeby modernizacji w latach 2016, 2017.

System detekcji wycieku, opisywany we wcześniejszych publikacjach [8], znacznie rozbudowano. Została mu też przydzielona połowa powierzchni pola nr 1 pulpitu cyklotronu AIC-144. Zgodnie z wizualizacją pola przedstawioną na rysunku 5 jest on podzielony na trzy części. Każda z nich działa niezależnie w oparciu o oddzielny detektor wilgoci WD-AMX-1 firmy Sontay [10]. Zastosowanie takiego rozwiązania daje operatorowi precyzyjną informację o lokalizacji wycieku a także zwiększa możliwości rozdzielenia blokad przepływu. Dzięki temu wyciek zlokalizowany w systemie chłodzenia próżni zatrzyma tylko pompę odpowiedzialną za przepływ destylatu w tym systemie. Informacja o wycieku w pomieszczeniu pompowni skieruje uwagę operatorów we właściwe miejsce bez konieczności przerywania akceleracji wiązki.



Rysunek 5. Pole 1 - alarmy.

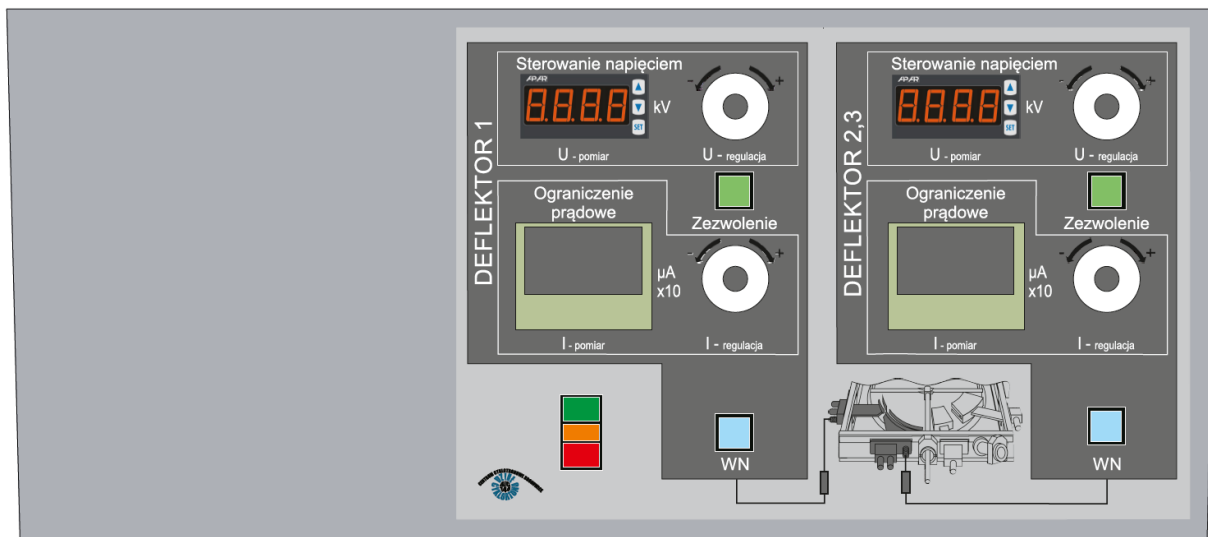
Zasada działania nowego systemu detekcji wycieku opiera się na poprzedniej wersji systemu z jednym detektorem wilgoci, z tym że czujniki są odpowiednio rozdzielone pomiędzy trzy przetworniki. Wykonanie połączeń elektrycznych wymagało zbudowania nowej płyty automatyki sterującej, którą przedstawia rysunek 6.



*Rysunek 6. System detekcji wycieku – projekt i realizacja.*

Kolejne pole pulpitu pełni funkcję sterownika zasilaczy wysokiego napięcia dla systemu deflektorów odpowiedzialnych za wyprowadzenie wiązki protonów z komory akceleracji cyklotronu. Wizualizacja tego pola przedstawiona jest na rysunku 7. Sterownik opisywany był w poprzedniej publikacji [8].



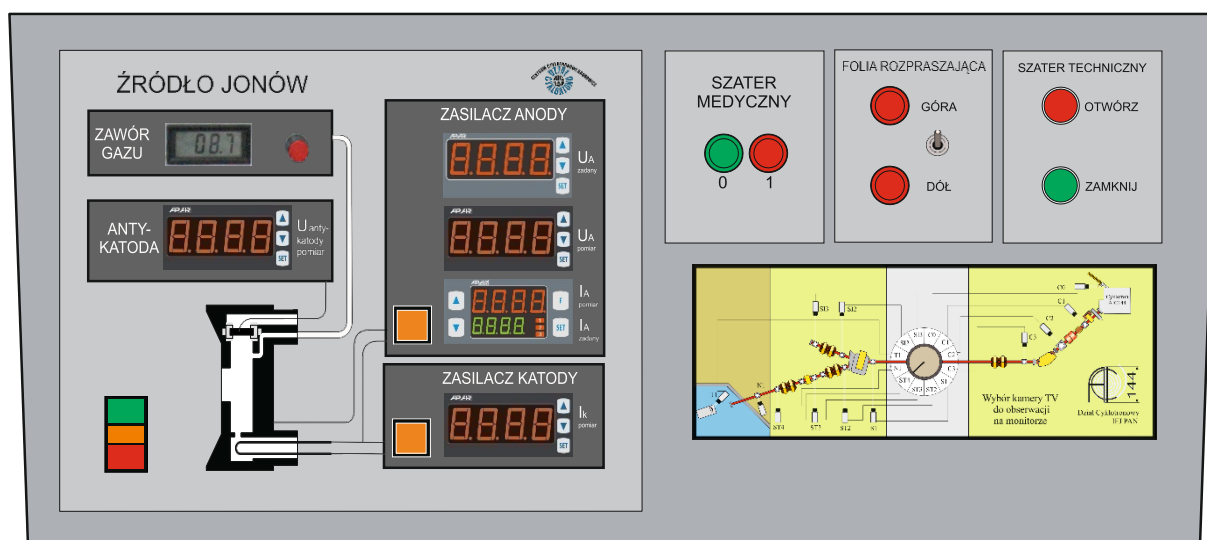


Rysunek 7. Pole 2

W polu numer 3 pulpitu cyklotronu, przedstawionego na rysunku 8, znajdują się:

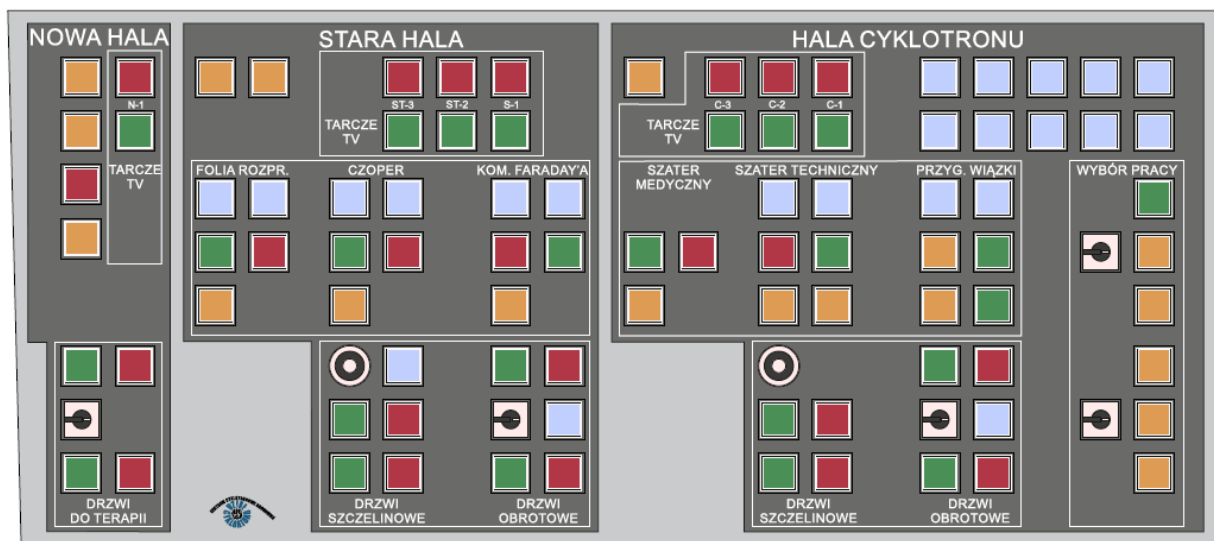
- sterownik źródła jonów,
- sterowanie systemem kamer monitorujących wiązkę protonów w trakcie jonowodów
- najczęściej używane funktry podczas pracy z wiązką.

Umieszczenie w/w elementów w centralnej części pulpitu (pole trzecie z siedmiu) ma szczególne znaczenie, ponieważ główny operator cyklotronu powinien mieć do nich łatwy dostęp.



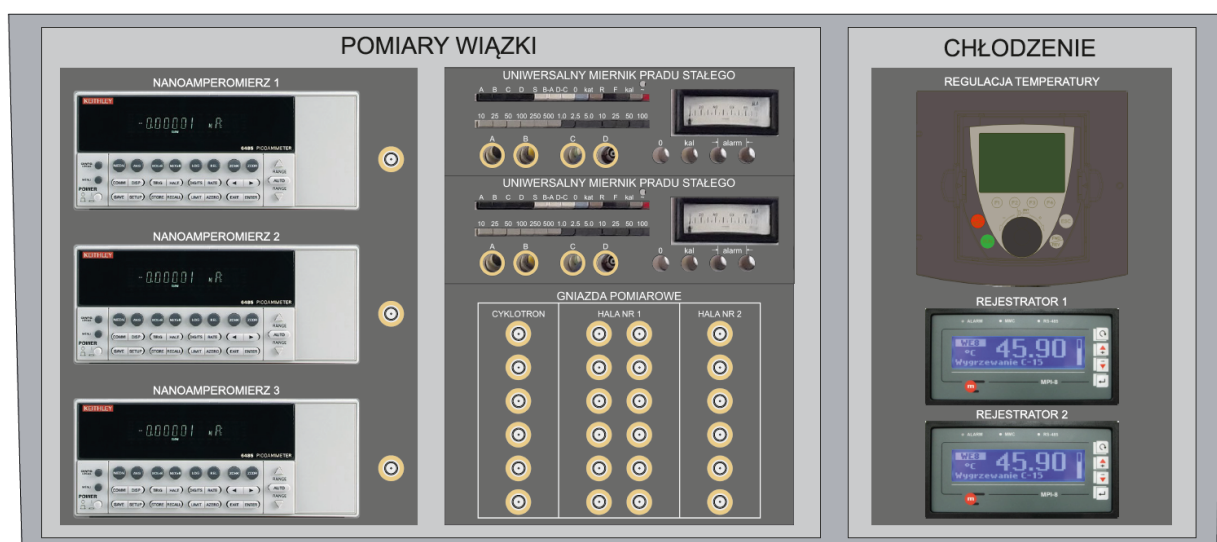
Rysunek 8. Pole 3

Również z tego powodu główny panel sterujący (szczegółowo opisany w poprzedniej publikacji [8]) został przeniesiony do centralnego pola pulpitu oznaczonego jako 4 i zwizualizowany na rysunku 9.



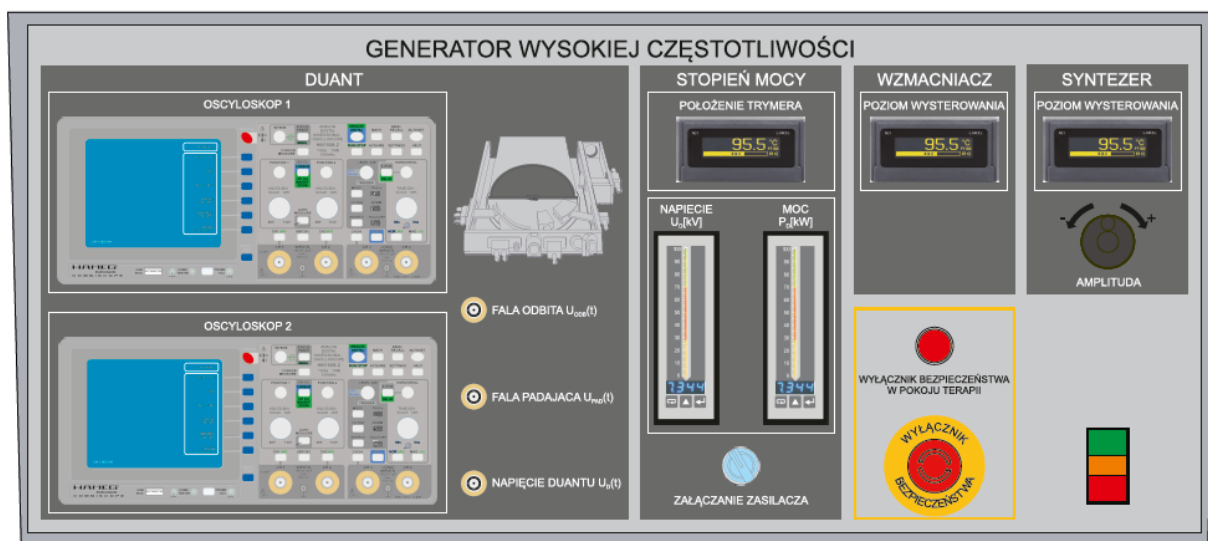
Rysunek 9. Pole 4 – Centralny Panel Sterujący.

Ostatnie zagospodarowane pola pulpitu są efektem prac remontowych prowadzonych w latach 2016 i 2017. Znajdują się one w bezpośrednim zasięgu drugiego operatora, ze względu na charakter jego pracy. Ta część pulpitu umożliwiła stabilizację wiązki protonów. Zadanie to realizuje drugi operator cyklotronu. Pole numer 5 ma charakter pomiarowy i jest przedstawione na rysunku 10. Zbiegają się tutaj najważniejsze sygnały pomiarowe z hali cyklotronu oraz z pomieszczeń eksperymentalnych. Obszar opisany jako „CHŁODZENIE” wypełniają systemy pomiarów, stabilizacji i rejestracji temperatur.



Rysunek 10. Pole 5.

Pole o nazwie „GENERATOR WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI” przedstawione na rysunku 11 zawiera bloki pomiaru, kontroli i sterowania stopniami mocy generatora 140 kW i częstotliwości 26,26 MHz [7].



Rysunek 11. Pole 6.

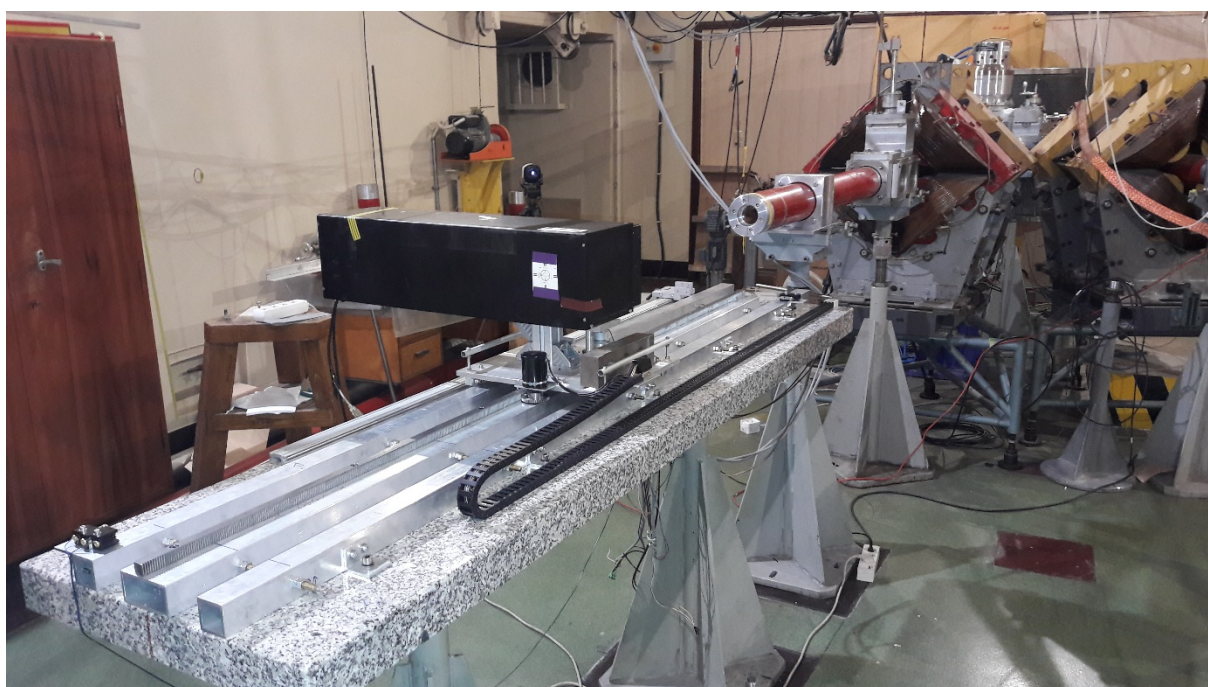
Obecny wygląd pulpitu Cyklotronu AIC-144 jest przedstawiony na rysunku 12. Dalsze prace remontowe będą się głównie skupiały na poprawie walorów estetycznych i drobnych modyfikacjach sterowania. Ostatnie pole o numerze 7 jest w tej chwili niewykorzystywane i będzie traktowane jako przestrzeń do ewentualnej rozbudowy sterowania.



Rysunek 12. Wygląd pulpitu sterowniczego na obecnym etapie prac.

### 3 Przebudowa stanowiska do napromieniania wiązką protonów na hali eksperymentalnej

Prace nad przebudową stanowiska do napromieniania na hali eksperymentalnej są prowadzone od 2015 roku [9]. W miejsce tymczasowej ławy optycznej wykorzystującej płytę aluminiową (zaadoptowana pokrywa od komory akceleracji) zainstalowano i ustawiono ławę z płyty granitowej (rysunek 13). Stanowisko służy do aktywacji izotopów, badań biologicznych, testów materiałowych, itp. Możliwe jest modelowanie kształtu, natężenia oraz przeprowadzanie pomiarów wiązki protonów w dowolnych odległościach od zakończenia jonowodu do końca ławy (w zakresie od 0 cm do 185 cm).

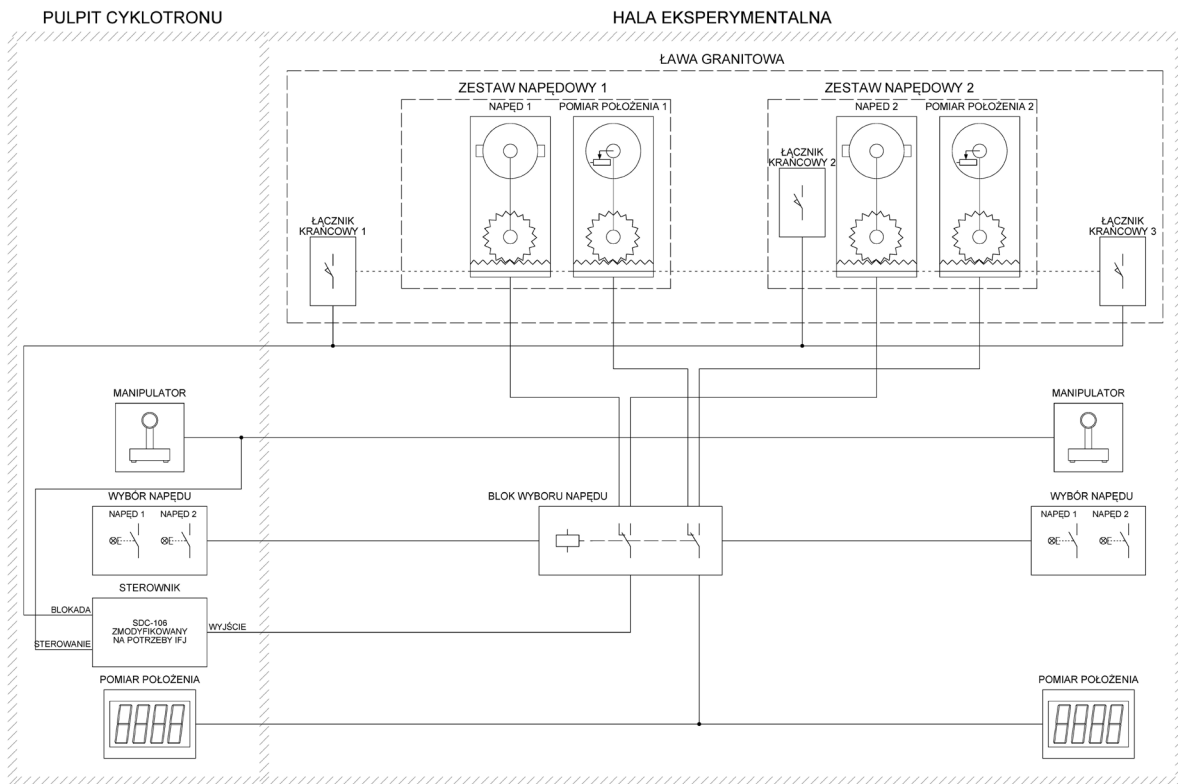


*Rysunek 13. Widok stanowiska do napromieniowywań z zainstalowaną kamerą CCD .*

Na ławie granitowej zamontowany został układ jezdny - prowadnice i napęd wózka, na którym znajdują się miejsca do ustawienia materiałów poddawanych napromienianiu, tarcz kontrolno-pomiarowych oraz kamery CCD służącej do precyzyjnych pomiarów wiązki protonów.

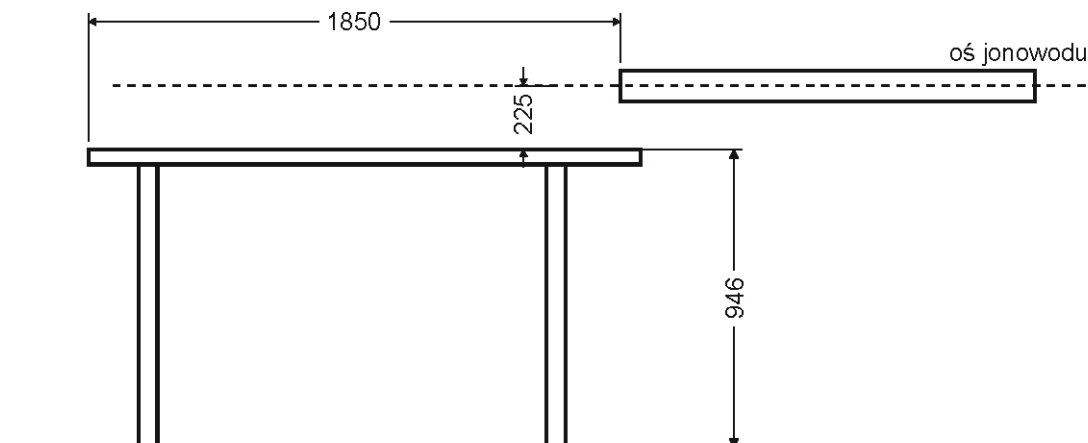
Do sterowania wózkami na ławie eksperymentalnej zastosowano sterownik PWM SDC-106. Zmodyfikowany pozwala na dokładne ustawienie położenia jednego z wcześniej wybranych zestawów napędowych. Schemat blokowy układu sterowania przedstawia rysunek 14. Regulacja odbywa się za pomocą manipulatorów decydujących o kierunku i prędkości poruszania się mechaniki. Cyfrowe mierniki zapewniają odczyt

położenia wózków. Sterowanie zdalne i lokalne zapewnia komfort pracy oraz możliwość korekty położenia obiektów napromienianych z pulpitu w czasie ekspozycji wiązki protonowej. Zestaw kamer wideo na stanowisku jest zintegrowany z systemem monitoringu wiązki cyklotronu AIC-144.



Rysunek 14. Schemat blokowy układu sterowania napędów na ławie optycznej.

Po zamontowaniu granitowej ławy optycznej dostosowano konstrukcję wózków oraz elementów mechaniki na niej umieszczonych do aktualnych wymiarów geometrycznych stanowiska pomiarowo-badawczego (rysunek 15).

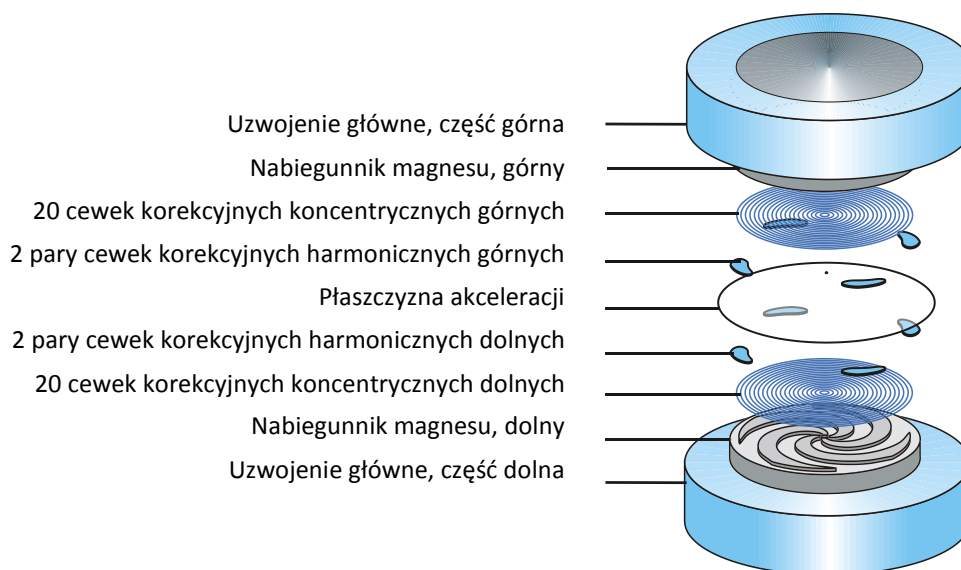


Rysunek 15. Schemat stanowiska z podanymi wymiarami geometrycznymi.

## 4 Nowy program do sterowania zasilaczami

### 4.1 Obiekt sterowany

System sterowania zasilaczami obejmuje zasilacze podłączone do uzwojeń kształtujących pole magnetyczne w komorze akceleracji cyklotronu AIC-144 i do magnesów wchodzących w układ traktu wiązki protonów [1]. W skład uzwojeń magnesu cyklotronu wchodzi uzwojenie główne, 40 koncentrycznych cewek korekcyjnych i 8 cewek harmonicznych. Do wszystkich tych uzwojeń jest podłączonych 25 zasilaczy, Trakt wiązki protonów obejmuje magnesy zakrzywiające tory protonów, magnesy korygujące oraz soczewki kwadrupolowe (rysunek 16).



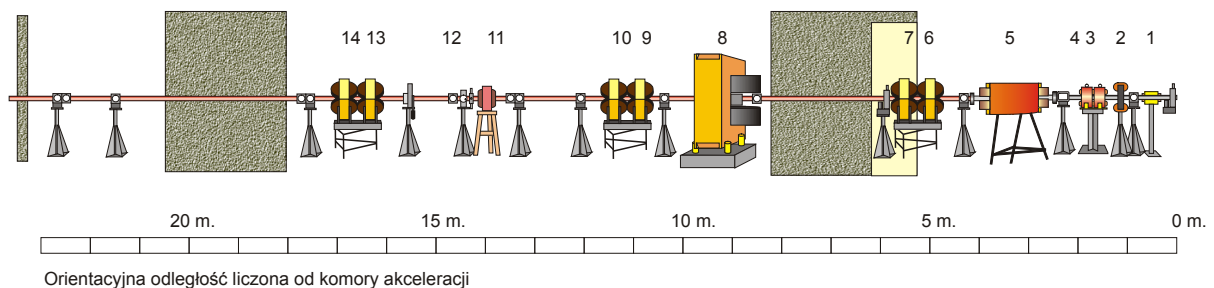
Rysunek 16. Uzwojenia magnesu cyklotronu AIC-144.

Wykaz magnesów w hali cyklotronu:

1. Magnes korekty w poziomie MK1.
2. Magnes korekty w pionie MK2.
3. Soczewki kwadrupolowa S1.
4. Soczewka kwadrupolowa S2.
5. Magnes odchylający 70 st. M1.
6. Soczewki kwadrupolowe S3.
7. Soczewka kwadrupolowa S4.

Magnesy w hali pomiarowej:

8. Magnes odchylający 12 st. M2.
9. Soczewka kwadrupolowa S5.
10. Soczewka kwadrupolowa S6.
11. Magnes korekty w pionie Mk3.
12. Miejsce na magnes korekty w poziomie Mk4.
13. Soczewka kwadrupolowa S7.
14. Soczewka kwadrupolowa S8.



Rysunek 17. Urządzenia układu sterowania traktem wiązki protonów, usytuowane wzdłuż trasy jonowodu: od wyjścia z cyklotronu (z prawej strony rysunku) do pomieszczenia terapeutycznego (po lewej stronie).

## 4.2 Założenia programu

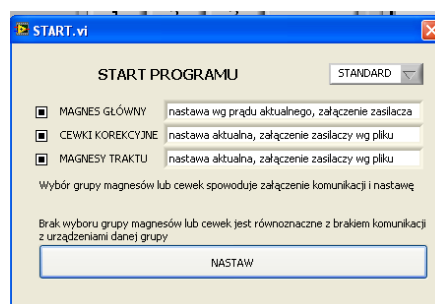
W 2017 roku zmieniono program sterowania zasilaczami. Celem zmiany było zwiększenie niezawodności pracy, przyspieszenie komunikacji z zasilaczami, skoncentrowanie sterowania przy pomocy jednego programu (dotychczas były dwa niezależne programy [6, 7]), rejestracja logów najważniejszych zasilaczy.

Prace całego systemu produkcji i transportu wiązki można pogrupować wg ilości czynnych zasilaczy:

- a. Praca normalna: zasilane są wszystkie cewki cyklotronu i magnesy traktu. Praca taka ma miejsce podczas terapii, produkcji izotopów na wiązce zewnętrznej i podczas niektórych prac kontrolnych.
- b. Praca samego cyklotronu: zasilane jest główne uzwojenie magnesu głównego cyklotronu i cewki korekcyjne. Praca taka występuje podczas diagnostyki cyklotronu, korekty pola głównego, naświetlaniu izotopów na wiązce wewnętrznej.
- c. Zasilanie tylko uzwojenia głównego cyklotronu. Taka sytuacja zachodzi pomiędzy okresami pracy cyklotronu, kiedy wymagana jest stabilizacja temperatury magnesu głównego.

Wobec powyższego zasilacze w programie zostały podzielone na 3 grupy: zasilacz magnesu głównego, zasilacze cewek korekcyjnych (koncentrycznych i harmoniczných) i zasilacze traktu prowadzenia wiązki protonów. Podczas startu programu, załączania i wyłączania możliwe jest sterowanie całą grupą zasilaczy (rysunek 18).

Rysunek 18. Okno startu programu z widocznym podziałem sterowania pogrupowanymi zasilaczami.



Ponadto program wykonywany w dowolnym reżimie pracy winien:

- sygnalizować nieprawidłową pracę zasilaczy
- posiadać możliwość zdalnej diagnostyki zasilaczy
- dysponować możliwością indywidualnego dialogu z zasilaczem



- na żądanie sporządzać raporty z nastaw poszczególnych zasilaczy
- monitorować wielkość prądu w magnesie głównym z ostatnich 24 godzin
- monitorować komunikacje między komputerem a zasilaczami
- nie zmieniać aktualnych nastaw zasilaczy po zamknięciu i ponownym uruchomieniu programu
- posiadać możliwość zamiany z poziomu programu zasilaczy podłączonych do dowolnej cewki korekcyjnej i magnesów traktu na inny

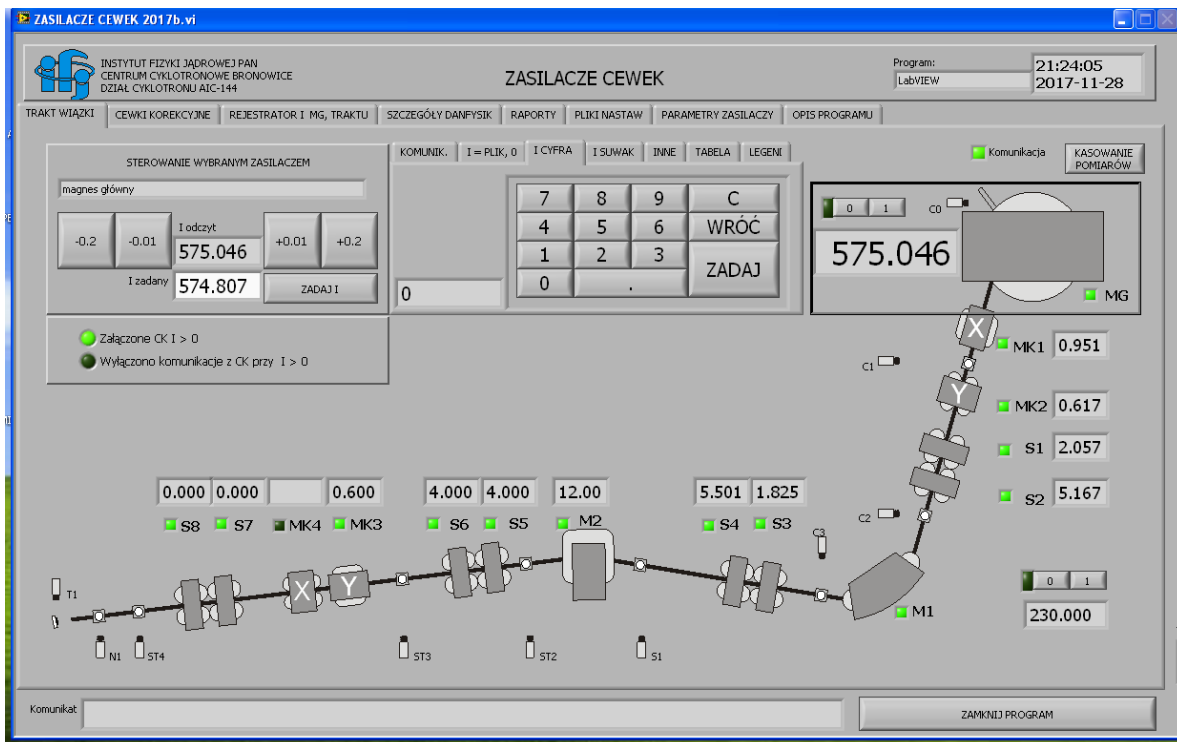
### 4.3 System sterowania

Sterowanie zasilaczami transportu wiązki jest wykonywane z komputera umieszczonego w sterowni, pozostałe urządzenia układu są rozmieszczone w różnych pomieszczeniach budynku cyklotronu. Połączenie komputera z zasilaczami prądu stałego zrealizowano za pośrednictwem lokalnej sieci komputerowej LAN, o konfiguracji drzewiastej, w standardzie Ethernet – RS232/RS422 . Sieć Ethernetu wykonano ekranowaną skrętką, o szybkości transmisji 100Mbps.

Program sterujący zasilaczami nosi nazwę Zasilacze cewek 2017b. Aplikacja ta została napisana w graficznym środowisku programistycznym LabView wersji 8.0 [11, 12, 13, 14], pod kontrolą systemu operacyjnego Windows XP.

### 4.4 Interfejs użytkownika

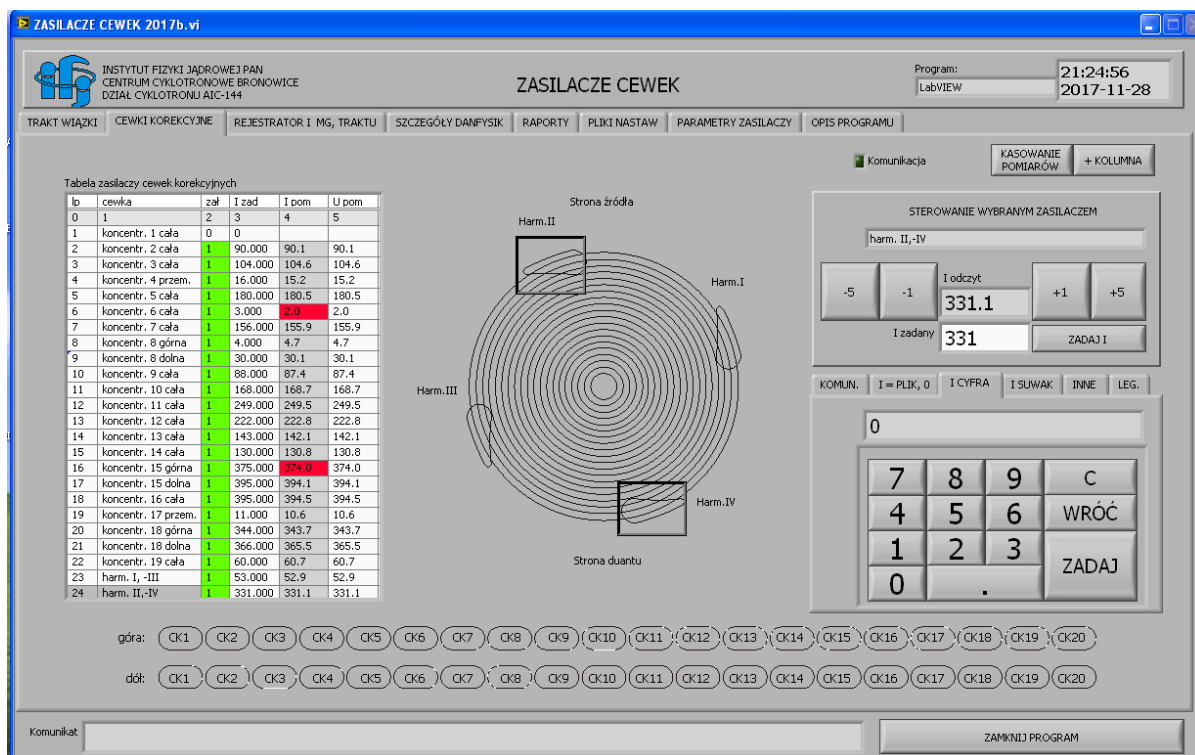
Autorzy programu Zasilacze cewek 2017b skupili szczególną uwagę na stworzeniu optymalnego interfejsu użytkownika, starali się, aby interfejs był funkcjonalny, prosty w obsłudze, estetyczny, wprost zachęcający do skorzystania z programu [15, 16]. Grafika i rozmieszczenie kontrolki uzgodniono z użytkownikami, dotyczy to zwłaszcza podstawowych paneli, służących głównie do nastaw prądów zasilaczy i ich monitorowania (rysunki 19 i 20).



Rysunek 19. Główne okno programu zasilacze cewek 2017b: panel „Trakt wiązki” Widać ramkę wyróżnionego magnesu MG – uzwojenia magnesu głównego.

Interfejs użytkownika składa się z ośmiu łatwo przełączalnych paneli:

- panel „Trakt wiązki”, rysunek 19
- panel „Cewki korekcyjne”, rysunek 20
- panel „Rejestrator I MG, traktu”, możliwa jest wizualizacja przebiegów prądów wybranych zasilaczy traktu
- panel „Szczegóły Danfysik”, z narzędziami do diagnozy zasilaczy MG i M1,
- Panel „Raporty”,
- panel „Pliki nastaw”, do tworzenia zestawów plików z nastawami cewek korekcyjnych cyklotronu i osobno magnesów traktu oraz magnesu głównego cyklotronu
- panel „Parametry zasilaczy”, do tworzenia plików z parametrami zasilaczy i opcjami programu
- panel „Opis programu”,



Rysunek 20. Okno programu zasilacze cewek 2017b : panel „Cewki korekcyjne”. Widoczne ramki wokół wyszczególnionych cewek harmonicznych.

Do każdego zasilacza można skierować indywidualnie komendy (identyfikacji, kasowanie alarmów, odczyt stanów itp.) i odczytać odpowiedzi w surowej, ale w pełni zrozumiałej postaci. Niektóre nietypowe komendy uzupełniono o podanie jednostki, w której należy spodziewać się odpowiedzi (np. „przepływ wody w (l/min)\*100”).

Program posiada, w ograniczonym zakresie, możliwość dostosowania niektórych parametrów pracy do aktualnych potrzeb i upodobań operatora cyklotronu (panel „Parametry zasilaczy”). Praktycznie wybór ogranicza się do określania: wartości maksymalnych i minimalnych prądów poszczególnych magnesów (nie muszą być tożsame z możliwościami zasilacza), wartość przypisana klawiszom do skokowej zmiany prądu, treść opisu poszczególnych magnesów. Większość opcjonalnych nastaw dotyczy parametrów transmisji danych w sieci Ethernet i parametrów komunikacji z zasilaczami, nie zaleca się ich zmiany przez użytkownika bez konsultacji z autorami programu. W programie istnieje też możliwość wzajemnej zamiany zasilaczy z poziomu interfejsu użytkownika (za wyjątkiem dwóch zasilaczy podpiętych do magnesów M1 i MG).

## 4.5 Realizacja programu

Program został podzielony na 3 części, każdemu fragmentowi wyznaczono obsługę innych urządzeń, kontrolek lub wykonywanie odrębnych obliczeń. Poszczególne części programu są realizowane w osobnych pętlach programowych pracujących asynchronicznie względem siebie. Praktycznie program składa się z niezależnych podprogramów, pracujących z różnymi częstotliwościami, złączonych ze sobą wspólnymi zmiennymi. Taka budowa programu pozwoliła zachować kontrolę nad częstotliwością wykonywania poszczególnych fragmentów oraz znacząco ułatwiła testowanie i rozruch programu.

Program został przetestowany, uruchomiony i od listopada 2017 roku jest w eksploatacji. Dotychczasowa praca aplikacji „Zasilacze cewek 2017b” jest poprawna.

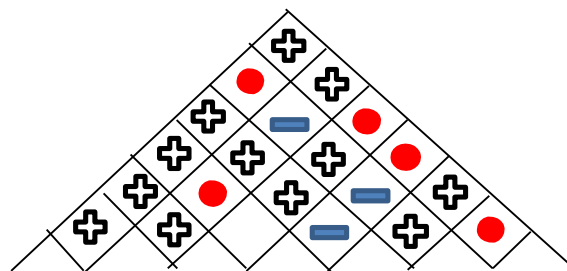
## 5 System Zarządzania Jakością

Nowoczesna metoda leczenia, pionierskie urządzenia stosowane w Dziale Cyklotronu AIC-144 oraz zwiększające się poczucie świadomości personelu technicznego wygenerowały wprowadzenie System Zarządzania Jakością. Wdrożenie SZJ miało wpływ na standaryzację procedur oraz instrukcji, udokumentowanie ustanowionych działań oraz eliminację ryzyka zawodowego związanego z promieniowaniem jonizującym. Dodatkowo rozwijający się rynek wpłynął na przetwarzanie i interpretację danych. Wymagania jakie personel nanosi na urządzenia zapewniają bezpieczeństwo pracowników w czasie jego użytkowania oraz dla środowiska. Problematyka jakości ma znaczenie fundamentalne w doskonaleniu działań jakie są wykonywane. System kładzie nacisk na:

- nadzór nad aparaturą kontrolno-pomiarową,
- nadzór nad dokumentami i ich zapisami (procedury, instrukcje, Księga Jakości) oraz ciągłą ich aktualizację,
- wysoką jakość stosowanych materiałów oraz swobodny do nich dostęp,
- dokładne pomiary,
- regularne przeglądy (zarówno testy eksploatacyjne stanowiska jak i przeglądy urządzeń),
- nowoczesną infrastrukturę,

- wprowadzenie działań korygujących i zapobiegawczych,
- podnoszenie kwalifikacji i świadomości przez pracowników.

Jedną z metod zarządzania jakością stosowaną w Dziale Cyklotronu AIC-144 jest metoda rozwinięcia funkcji jakości – QFD [17]. Na podstawie wymagań klientów oraz informacji jakie od nich otrzymuje dział jest w stanie ustalić techniczne parametry wyrobu oraz zaprojektować zgodnie z oczekiwaniami nowe stanowisko lub przebudowę już istniejącego (patrz Rozdział 3). Metoda QFD pozwala na podstawie potrzeb ustalić ogólne, techniczne parametry wyrobu i jego części oraz charakterystykę usługi [18]. Czynniki, które mają wpływ na parametry techniczne produktu to: wydajność, koszty, awarie, jakość usługi, spełnione wymagania, czas napromieniania oraz dokumentacja. QFD jest więc uniwersalnym narzędziem dedykowanym do wszystkich gałęzi technicznych i technologicznych, ale również do procesów administracyjnych jakie zachodzą w Dziale Cyklotronu AIC-144. Wersja skrócona „Domu jakości QFD” przedstawia, który z parametrów jest najważniejszy (Rysunek 21).



<i>Kierunek optymalizacji</i>		↑	↑	↓	↓	↓	↑	↓
<i>Parametry techniczne produktu</i>		wydajność	spełnione wymagania	koszty	dokumentacja	awarie	jakość usługi	czas napromieniania
<i>Wymagania</i>	<i>Ważność wymagań</i>							
wysoka świadomość personelu	10	3	3	3	1	3	9	3
motywacja do pracy	9	3	3	1	1	1	3	3
wysoka jakość materiałów	10	9	9	9	3	9	9	1
swobodny dostęp do materiałów	8	9	3	3	3	3	3	3
nowoczesna infrastruktura	7	3	3	1	1	1	3	3
regularne przeglądy techniczne	9	3	3	3	3	9	9	3
jasne procedury	7	3	9	1	9	3	9	9
przewodzenie działań korygujących	8	3	3	3	3	9	3	3
usuwanie przyczyn awarii	9	9	9	9	3	9	9	9
dokładne pomiary	7	3	3	1	1	3	9	1
<i>Ważność parametrów technicznych</i>	<i>bezwzględne</i>	414	408	306	340	436	564	314
	<i>względne [%]</i>	16	16	5	17	13	22	11

Rysunek 21. „Dom jakości QFD” względem czynników.

Według zastosowanej metody zarządzania jakością waga parametrów technicznych produktu przedstawia się następująco:

- najważniejszym parametrem jest jakość usługi i wynosi ona 22 %,
- jednym z istotnych cech jest również dokumentacja, wydajność i spełnienie wymagań.

Zastosowanie skróconej metody QFD przedstawia kluczowe korzyści z niej wynikające:

- uwzględnienie wymagań użytkowników,
- planowanie stanowisk lub prac zgodnie z wymaganiami,
- stała poprawa jakości,
- skrócenie czasu trwania napromieniania np. materiałów biologicznych, kryształów fluorku litu LiF czy detektorów LiMgPO<sub>4</sub>,
- niższe koszty,
- przekształcenie kryterium klienta na realne wymagania badawczo-rozwojowe,
- skrócenie czasu trwania napromieniania.

## 6 Bibliografia

- [1] Daniel K., Bochenek-Dobrowolski R., Doruch H. i inni: Przystosowanie cyklotronu AIC-144 do zastosowań medycznych Część 2. Korekta pola magnetycznego, modernizacja traktu wiązki. Raport IFJ PAN nr 1991/AP. Kraków 2006.
- [2] 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
- [3] Olko P.: Projekt Narodowego Centrum Radioterapii Hadronowej. Seminarium Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademia Górniczo Hutnicza, Kraków 29 luty 2008
- [4] Swakoń J., Olko P.: Stanowisko do radioterapii protonowej nowotworów oka w IFJ PAN, Materiały Konferencyjne z IX Sympozjum: Modelowanie i Pomiary w Medycynie 10-14 maj 2009, Krynica 2009
- [5] 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
- [6] Daniel K., Janik G., Norys T.: System sterowania zasilaczami traktu wiązki protonów i zasilaczem uzwojenia głównego cyklotronu AIC-144. Raport IFJ PAN nr 2043/AP. Kraków 2010.
- [7] Eksploatacja Cyklotronu AIC-144 przystosowanego do celów medycznych, Raport Nr 2065/AP, Kraków 2013
- [8] Sroka A., Rogóż-Duda A., Sumera M. i inni: Eksploatacja Cyklotronu AIC-144 przystosowanego do celów medycznych cz. 3. Raport IFJ PAN nr 2087/AP. Kraków 2015.
- [9] Nowak T., Sulikowski J., Bogdali P. i inni: Stanowisko cyklotronu AIC-144 do naświetlań wiązką protonów. Raport IFJ PAN nr 2095/AP. Kraków 2016.
- [10] <https://www.sontay.com/media/specs/WD-AMX.pdf>
- [11] Winiecki W, Nowak J, Stanik S. Graficzne zintegrowane środowiska programowania. Wydawnictwo MIKOM. Warszawa 2001.



- [12] Tłaczała W. Środowisko LabVIEW w eksperymencie wspomaganym komputerowo. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2002.
- [13] Świsulski D. Komputerowa technika pomiarowa. Oprogramowanie wirtualnych przyrządów pomiarowych pomiarowych LabVIEW. Agenda Wydawnicza PAK-u. Warszawa 2005.
- [14] Chruściel M.: LabVIEW w praktyce. Wydawnictwo btc. Legionowo 2008.
- [15] Spolsky J. Projektowanie interfejsu użytkownika. Poradnik za programistów. Wydawnictwo MIKOM. Warszawa 2001.
- [16] Chabik J. Praktyka skutecznego programowania. Wydawnictwo Nakom. Warszawa 1999.
- [17] <http://www.zarz.agh.edu.pl/bsolinsk/qfd.html>
- [18] <https://www.jakosc.biz/qfd-quality-function-deployment/>