

INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
Im. Henryka Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk

Ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków

www.ifj.edu.pl/reports/2014.html

Kraków, grudzień 2014

Raport Nr 2078/AP

Projekt modernizacji systemów dostępu i bezpieczeństwa cyklotronu AIC-144

Krzysztof Suder, Krzysztof Daniel, Konrad Guguła, Grzegorz Janik,
Łukasz Kamiński, Andrzej Koczot, Magdalena Jabłońska, Łukasz Raczyński,
Marek Ruszel, Mateusz Winiarz

Abstract.

The goal of this report is to present to possibility of modernization of AIC-144 cyclotron's safety systems. The actual status is described and possible solution offered. The core of the new safety system is Siemens Simatic S7-200 PLC which delivers satisfactory quantity of I/Os and also allows further development by ie. implementing Ethernet communication and control over the remote program. The methodology of control algorithms construction is also presented.

Spis Treści:

| | |
|--|-----------|
| 1. System bezpieczeństwa pracy cyklotronu AIC-144..... | 3 |
| 2. Założenia modernizacyjne | 7 |
| 3. Zabezpieczenie włączenia toru sygnały wysokiej częstotliwości po modernizacji..... | 9 |
| 4. Realizacja automatyki..... | 11 |
| 5. Literatura | 16 |

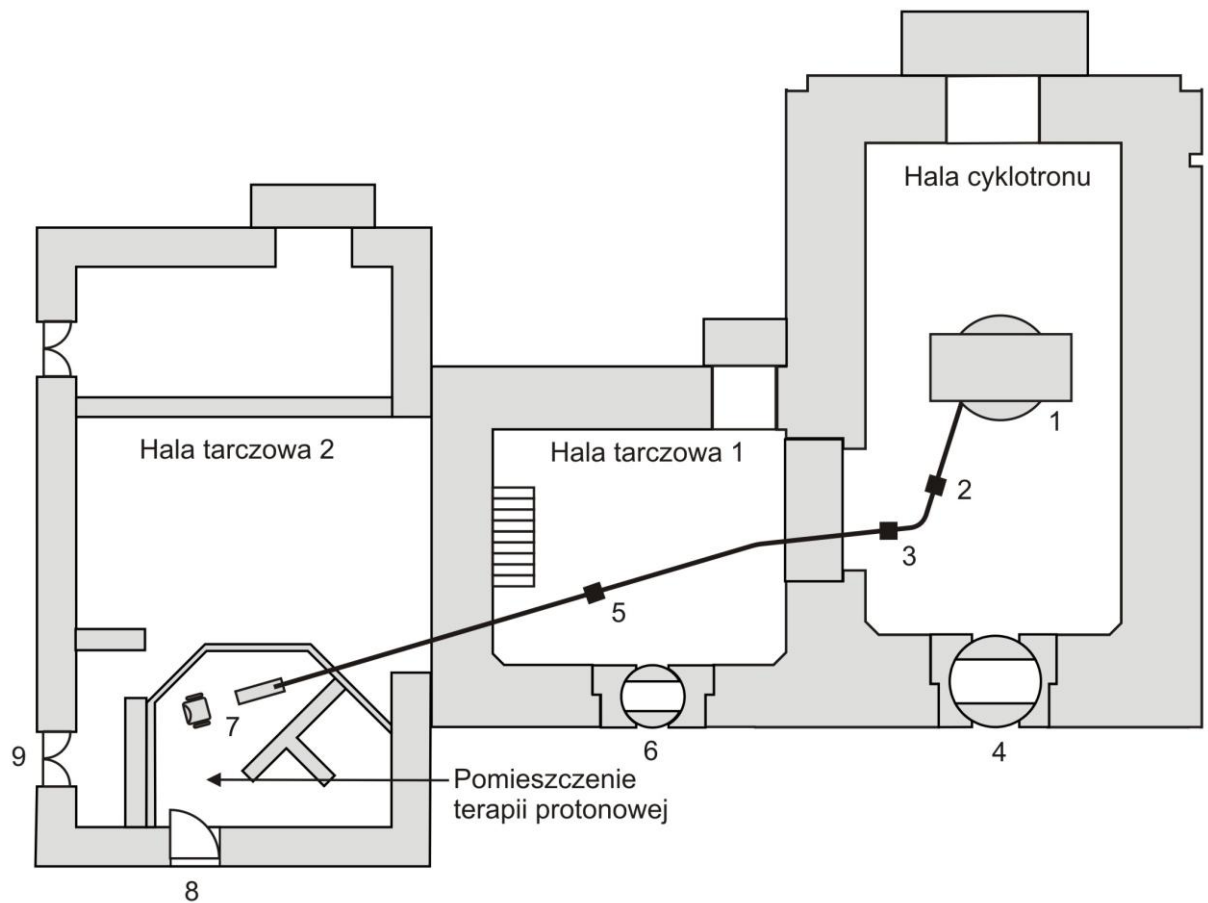
1. System bezpieczeństwa pracy cyklotronu AIC-144

W Instytucie Fizyki Jądrowej znajduje się cyklotron izochroniczny AIC-144. Umożliwia on przyspieszanie cząstek lekkich (tj. protonów, deuteronów i cząstek alfa).

Od 2009 roku cyklotron został przekazany do użytku dla Centrum Cyklotronowego Bronowice (CCB). Przyspieszane protony w postaci skolimowanej wiązki o zoptymalizowanych parametrach służą do napromieniania nowotworów gałki ocznej. Stosowana jest wiązka o energii około 60MeV oraz prądzie do 80nA. Stabilność prądu wiązki wynosi 5%.

Pracujący cyklotron, przyśpieszona wiązka i urządzenia do transportu i formowania wiązki wytwarzają silne pole elektromagnetyczne, generują promieniowanie jonizujące alfa, beta, gamma oraz neutronowe. Promieniowanie to jest obecne podczas pracy cyklotronu w hali cyklotronu i pomieszczeniach przez które prowadzona jest wiązka (rys.1). Wysoka szkodliwość promieniowania na organizm człowieka wymaga podjęcia działań, które uniemożliwiają obecność ludzi w pomieszczeniach w których pracuje cyklotron lub do których jest prowadzona wiązka protonowa. Służy temu zbudowany system bezpieczeństwa: kontroluje i monitoruje on możliwość wejścia do zagrożonych promieniowaniem pomieszczeń lub wyłącza jego źródło w razie nieautoryzowanego wtargnięcia.

Nadzorem objęty jest stan drzwi wejściowych do pomieszczenia (bunkier), hali tarczowej oraz hali terapii oka i eksperymentu. Poza tym zbiera on również informacje o pozycji odcinaczy wiązki (szaterów) oraz tarcz pomiarowych. Wszystkie te informacje, jak również sygnały z pulpitu sterowniczego zezwalają lub zabraniają na wysłanie wiązki do poszczególnych pomieszczeń. Na Rysunku 1 przedstawiono schemat pomieszczeń i elementów wchodzących w skład systemu kontroli bezpieczeństwa.



Rys.1. Schemat rozmieszczenia pomieszczeń i elementów systemu bezpieczeństwa.

Opis elementów:

1. Cyklotron.
2. Techniczny odcinacz wiązki.
3. Szybki odcinacz medyczny.
4. Drzwi do hali cyklotronu (Drzwi1).
5. Układ rozpraszania wiązki (kolimator z folią tantalową)
6. Drzwi techniczne hali tarczowej I (Drzwi2).
7. Stanowisko terapii oka.
8. Drzwi do hali terapii oka.
9. Drzwi techniczne hali tarczowej II (Drzwi5).

Cyklotron może pracować w różnych trybach. Zakłada się pracę cyklotronu oraz pracę z wiązką jonów w trzech trybach normalnych i jednym testowym:

- Tryby normalne:
 - a) Tryb pracy cyklotronu z wiązką wewnętrzną wyprowadzoną na zewnątrz komory akceleracyjnej zatrzymaną na mechanicznym odcinaczu wiązki.
 - b) Tryb pracy cyklotronu z wiązką wyprowadzoną do stanowisk aktywacji tarcz na hali tarcz I.
 - c) Tryb pracy cyklotronu z wiązką wyprowadzoną do stanowiska w pomieszczeniu terapii protonowej – terapeutyczna wiązka protonów.

- Istnieje możliwość pracy akceleratora w trybie testowym, zgodnie z dyrektywą bezpieczeństwa. Dopuszcza ona uruchomienie dwóch z trzech systemów do pełnej akceleracji jonów, przy otwartych drzwiach technologicznych i możliwości przebywania osób w hali cyklotronu. Systemy, które będzie można załączyć w celu sprawdzenia poprawności ich działania:
 - a) system wysokiej częstotliwości lub system formowania pola magnetycznego,
lub,
 - b) system formowania pola magnetycznego i źródła jonów.

Podczas normalnej pracy z wiązką jonów wewnętrzną i wyprowadzoną na zewnątrz komory akceleracji przebywanie osób na hali cyklotronu i w korytarzu pod cyklotronem jest niedozwolone. Drzwi technologiczne i drzwi techniczne hali cyklotronu muszą być bezwzględnie zamknięte i musi być zablokowana możliwość ich otworzenia. Wejście do korytarza pod cyklotronem zamknięte i musi być zablokowana możliwość jego otworzenia.

Podczas normalnej pracy z wiązką jonów wyprowadzoną do hali tarczowej I przebywanie osób na hali tarczowej I i w korytarzu pod tą halą jest niedozwolone. Drzwi technologiczne i drzwi techniczne hali tarczowej I muszą być bezwzględnie zamknięte i musi być zablokowana możliwość ich otworzenia.

Podczas normalnej pracy z wiązką jonów wyprowadzoną do pomieszczenia terapii protonowej przebywanie osób na hali tarczowej II i w pomieszczeniu terapii – poza pacjentem jest niedozwolone. Drzwi do hali tarczowej II i drzwi do pomieszczenia terapii protonowej muszą być bezwzględnie zamknięte, przy czym drzwi do pomieszczenia D5 muszą mieć zablokowaną możliwość ich otworzenia.

Podczas normalnej pracy z wiązką jonów wyprowadzoną na zewnątrz komory akceleracji dostęp osób do pomieszczenia terapii protonowej i hali tarczowej II jest możliwy tylko pod warunkiem zamknięcia na hali cyklotronu mechanicznego odcinacza wiązki, – szater – który uniemożliwia transport wiązki jonów do dalszych hal tarczowych.

Podczas normalnej pracy z wiązką jonów wyprowadzoną na zewnątrz komory akceleracji dostęp osób do hali tarczowej I jest możliwy tylko pod warunkiem zamknięcia na hali cyklotronu mechanicznego odcinacza wiązki, który uniemożliwia transport wiązki jonów do dalszych hal tarczowych.

Podczas normalnej pracy z wiązką jonów wyprowadzoną do hali tarczowej I dostęp osób do pomieszczenia terapii protonowej i hali tarczowej II jest możliwy tylko pod warunkiem zamknięcia na hali tarczowej I mechanicznego odcinacza wiązki, który uniemożliwia transport wiązki jonów do dalszych hal tarczowych i prąd przepływający przez magnes rozdzielający M2 nie może być większy niż 5 A.

W przypadku załączenia trzeciego systemu jednocześnie przy otwartych drzwiach nastąpi rozwarcie głównych styków blokady systemu wysokiej częstotliwości lub główne styki blokady systemu wysokiej częstotliwości pozostaną rozwarte.

Techniczna realizacja przedstawionych założeń pracy systemu dostępu i bezpieczeństwa została wykonana przy pomocy podzespołów elektrycznych i

elektronicznych, do których należą: styczniki, przełączniki bi oraz monostabilne, siłowniki pneumatyczne i elektryczne, czujniki położenia, kamery TV, wyświetlacze

i wskaźniki świetlne. W związku z niedawną modernizacją traktu wiązki spełnione zostały również medyczne wymogi bezpieczeństwa, co dało możliwość zautomatyzowania całego systemu [2].

2. Założenia modernizacyjne

Modernizacja systemu w założeniu ma uzupełnić istniejące rozwiązanie o dodanie nadrzędnego, redundancyjnego systemu bezpieczeństwa opartego o sterownik przemysłowy, przy czym możliwe musi być całkowite przejęcie kontroli nad systemem przez pulpit sterujący (dla celów serwisowych). W tej sytuacji wciąż jednak działają zabezpieczenia opisane w wymaganiach dotyczących uruchomienia systemów generujących wiązkę. Wynika zatem stąd, że nadal główne decyzje i najwyższym stopniem kontroli jest operator cyklotronu. Powinien on zatem przejść stosowne szkolenie, znać system i umiejętnie i odpowiedzialnie się nim posługiwać.

Przeprowadzane prace winny być oparte o sterownik przemysłowy *PLC SIEMENS S7-200 CPU-226*. Posiada on poza podstawowym zestawem wejść i wyjść cyfrowych, dodatkowe moduły rozszerzające o cyfrowe wejścia/wyjścia oraz moduł do komunikacji z siecią Ethernet.

Takie rozwiązanie ma poprawić bezpieczeństwo pracy poprzez:

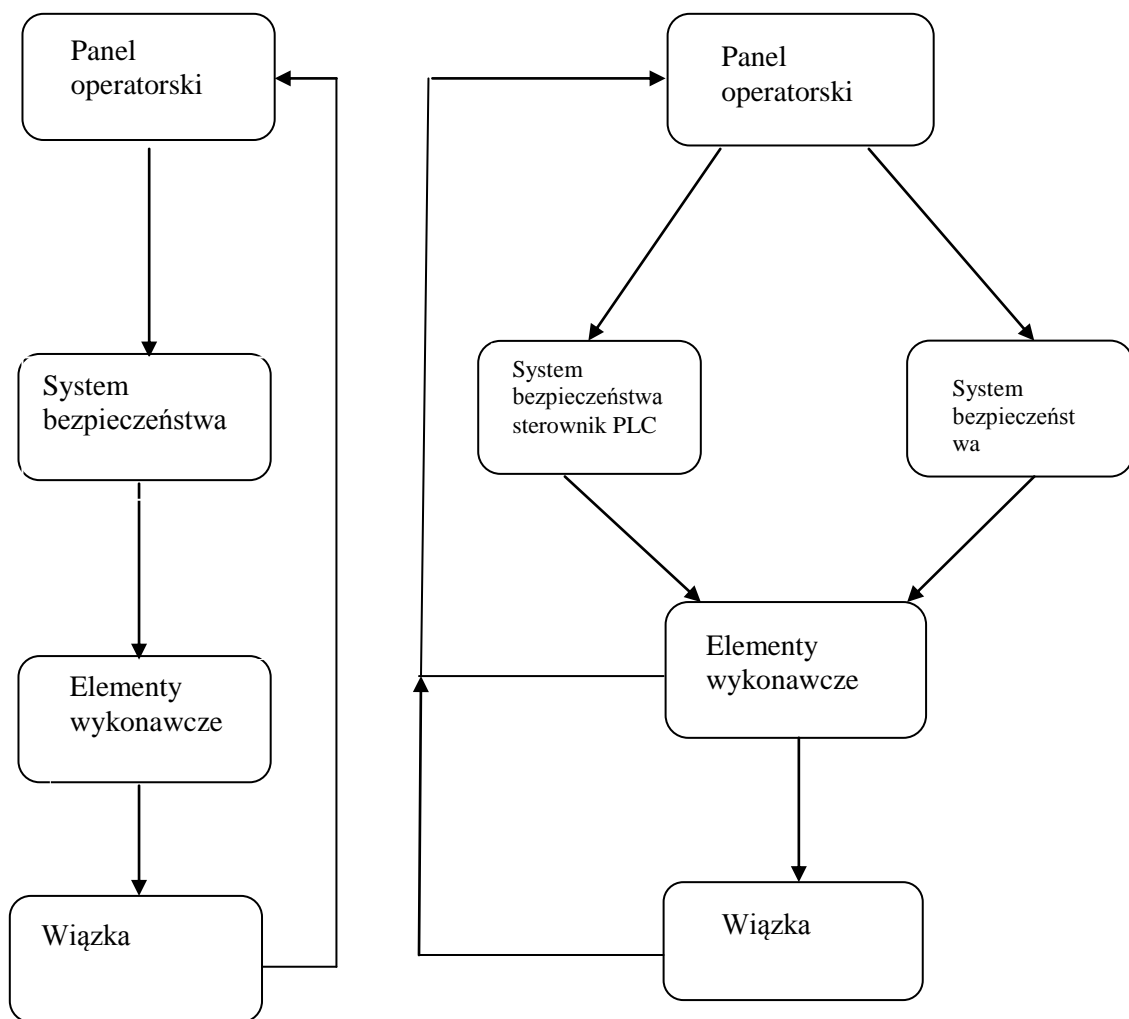
- automatyzację wybranych procesów sterowania,
- wprowadzenie diagnostyki uszkodzeń i błędów,
- zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia błędu spowodowanego czynnikiem ludzkim,
- zintegrowany system bezpieczeństwa (automatyczne wsuwanie odcinaczy wiązki, wyłączenie wiązki lub ważne informacje zwrotne z sensorów),
- możliwość sterowania pracą systemu za pomocą komputera (opcjonalne).

Schemat poglądowy obecnego stanu systemu sterowania prezentuje Rys.2. Operator bezpośrednio kontroluje urządzenia peryferyjne z pulpitu. Sygnały te podawane są na układ przekaźników na których realizowana jest logika systemu zabezpieczeń, a następnie sygnał przesyłany jest do elementów wykonawczych.

Pulpit operatorski służy do sterowania manualnego, ustawiania parametrów wiązki oraz odczytu informacji zwrotnych z elementów wykonawczych i czujników.

Po modernizacji sygnały odpowiadające za bezpieczeństwo (sterowanie tarczami, odcinacze wiązki, informacje zwrotne) są przekazywane do sterownika PLC, który realizuje algorytm sterujący blokadą systemu dostępu (głównego włącznika obwodu wysokiej częstotliwości). W planach jest także możliwa realizacja systemu graficznego do kompleksowej kontroli wraz z integracją ze sterownikiem S7-200, posiadającym moduł komunikacji oparty o sieć Ethernet.

Rys. 3 przedstawia koncepcję modernizacji systemu.

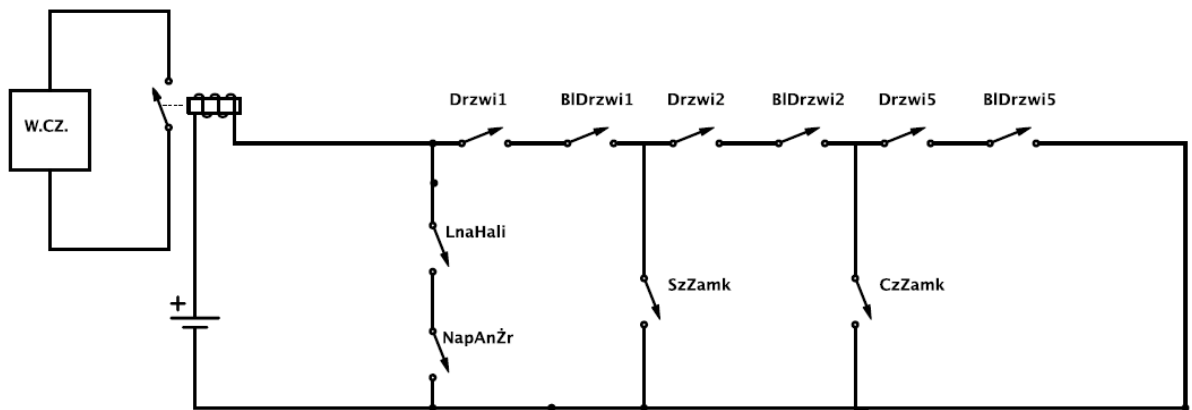


Rys.3. Schemat systemu kontroli wiązki po modernizacji

Rys.2. Schemat systemu kontroli wiązki

3. Zabezpieczenie włączenia toru sygnału wysokiej częstotliwości po modernizacji.

Jedną z głównych funkcji systemu bezpieczeństwa jest sterowanie blokadą włącznika sygnału wysokiej częstotliwości w cyklotronie. Umożliwia on lub blokuje możliwość wytworzenia wiązki. Poniżej przedstawiono schemat łańcucha blokad systemu dostępu AIC-144 (Rys. 4).



Rys.4. Algorytm łańcucha blokad systemu dostępu AIC-144

Schemat algorytmu prezentuje wszystkie możliwości zezwolenia załączenia obwody wysokiej częstotliwości. Wszystkie włączniki pracują w układzie NO (normally open - normalnie rozwarte), co skutkuje jedynką logiczną (zwarciem obwodu) w momencie włączenia danego wejścia. (Stany nieustalone lub pośrednie włączników traktowane są jako stan NO). Dzięki takiemu rozwiązaniu system jest zgodny z procedurami bezpieczeństwa i zapobiega uruchomieniu w przypadku awarii włączników.

Oznaczenia na schemacie:

- LnaHali - klucz "Ludzie na Hali" włączony
- NapAnŹr - zasilanie napięcia anodowego źródła jonów wyłączone
- Drzwi1 - krańcówka "zamknięte" przy drzwiach D1
- BIDrzwi1 - klucz blokady drzwi D1 w sterowni przełączony
- SzZamk - krańcówka "zamknięty" szater
- Drzwi2 - krańcówka "zamknięte" przy drzwiach D2
- BIDrzwi2 - klucz blokady drzwi D1 w sterowni przełączony
- CzZamk - krańcówka "zamknięty" czoper
- Drzwi5 - krańcówka "zamknięte" przy drzwiach D5
- BIDrzwi5 - klucz blokady drzwi D5 w sterowni przełączony

Zgodnie ze schematem z Rys.4 załączenie styków obwodu wysokiej częstotliwości jest możliwe w czterech przypadkach:

- 1) Klucz do zezwolenia na pracę ludzi na hali włączony i zasilanie źródła jonów wyłączone
- 2) Zamknięte i zablokowane drzwi D1 i zamknięty szater
- 3) Zamknięte i zablokowane drzwi D1, D2 i zamknięty czoper
- 4) Zamknięte i zablokowane drzwi D1, D2, D5

Spełnienie któregokolwiek z warunków skutkuje załączeniem przekaźnika generatora wysokiej częstotliwości. Zmiana stanu, któregokolwiek ze składników warunku na logiczne zero automatycznie rozwiera styki generatora w.cz. Zastosowanie takiego algorytmu umożliwia realizację wymogów bezpieczeństwa dotyczących jednoczesnego włączenia maksymalnie dwóch z trzech systemów do pełnej akceleracji wiązki podczas przebywania ludzi na hali oraz możliwość pracy cyklotronu w trzech trybach (wiązka wewnątrz hali cyklotronu, wiązka do hali tarczowej I oraz wiązka terapeutyczna).

4. Realizacja automatyki

W celu realizacji założeń z Rozdziału 3 konieczne jest doprowadzenie sygnałów kontrolnych (z pulpitu i urządzeń peryferyjnych) do sterownika jak również wyprowadzenie sygnałów sterujących (do urządzeń peryferyjnych). W Tabeli 1 zawarte są przydziały wejść i wyjść w sterowniku do konkretnych elementów systemu.

| LP | Symbol | Adres w sterowniku | LP | Symbol | Adres w sterowniku |
|----|-------------------------|--------------------|----|-------------------------|--------------------|
| 1 | Tryb_Normalny | I0.0 | 28 | drzwi_hala_tarcz_II_blo | I3.2 |
| 2 | Tryb_serwisowy | I0.1 | 29 | drzwi_terapia_zam | I3.3 |
| 3 | Zatrzymanie | I0.2 | 30 | drzwi_terapia_otw | I3.4 |
| 4 | Praca_cyklotronu | I0.3 | 31 | drzwi_terapia_blok | I3.5 |
| 5 | Praca_hala_tarczowa | I0.4 | 32 | szybki_szater_otwarty | I3.6 |
| 6 | Terapia_protonowa | I0.5 | 33 | szybki_szater_zamkniety | I3.7 |
| 7 | Ustawianie_wiazki | I0.6 | 34 | hala_tarcz_kom_far_otw | I4.0 |
| 8 | Wiazka_gotowa_do_terapi | I0.7 | 35 | hala_tarcz_kom_far_otwo | I4.1 |
| 9 | Odcinacz_wiazki_otwarty | I1.0 | 36 | hala_tarcz_kom_far_zam | I4.2 |
| 10 | Odcinacz_wiazki_otwarty | I1.0 | 37 | hala_tarcz_kom_far_zamk | I4.3 |
| 11 | Odcinacz_wiazki_otworz | I1.1 | 38 | hala_tarcz_fol_rozpr_o | I4.4 |
| 12 | Odcinacz_wiazki_zamknie | I1.2 | 39 | hala_tarcz_fol_rozpr_ot | I4.5 |
| 13 | Odcinacz_wiazki_zamknij | I1.3 | 40 | hala_tarcz_fol_rozpr_z | I4.6 |
| 14 | drzwi_cyklotron_otwarte | I1.4 | 41 | hala_tarcz_fol_rozpr_za | I4.7 |
| 15 | drzwi_cyklotron_zamknie | I1.5 | 42 | hala_tarcz_m_odc_w_o | I5.0 |
| 16 | drzwi_cyklotron_zab_odb | I1.6 | 43 | hala_tarcz_m_odc_w_otwo | I5.1 |
| 17 | drzwi_cyklo_szczel_otw | I1.7 | 44 | hala_tarcz_m_odc_w_z | I5.2 |
| 18 | drzwi_cyklo_szczel_zamk | I2.0 | 45 | hala_tarcz_m_odc_w_zamk | I5.3 |
| 19 | drzwi_cyklo_szczel_blok | I2.1 | 46 | tarcza_tv1_otwarta | I5.4 |
| 20 | drzwi_hala_tarcz_otw | I2.2 | 47 | tarcza_tv1_zamknieta | I5.5 |
| 21 | drzwi_hala_tarcz_zamk | I2.3 | 48 | tarcza_tv1_zamk_otw | I5.6 |
| 22 | drzwi_hala_tarcz_blok | I2.4 | 49 | tarcza_tv2_otwarta | I5.7 |
| 23 | drzwi_hala_tarcz_tech_o | I2.5 | 50 | tarcza_tv2_zamknieta | I6.0 |
| 24 | drzwi_hala_tarcz_tech_z | I2.6 | 51 | tarcza_tv2_zamk_otw | I6.1 |
| 25 | drzwi_hala_tarcz_tech_b | I2.7 | 52 | tarcza_tv3_otwarta | I6.2 |
| 26 | drzwi_hala_tarcz_II_otw | I3.0 | 53 | tarcza_tv3_zamknieta | I6.3 |
| 27 | drzwi_hala_tarcz_II_zam | I3.1 | | | |

Tabela 1. Wykaz wejść sterownika.

| LP | Symbol | Adres w sterowniku | LP | Symbol | Adres w sterowniku |
|----|----------------------|--------------------|----|-------------------------|--------------------|
| 54 | tarcza_tv3_zamk_otw | I6.4 | 68 | tarcza_tv8_zamknieta | I8.2 |
| 55 | tarcza_tv4_otwarta | I6.5 | 69 | tarcza_tv8_zamk_otw | I8.3 |
| 56 | tarcza_tv4_zamknieta | I6.6 | 70 | przejscie_koryt_otwarte | I8.4 |
| 57 | tarcza_tv4_zamk_otw | I6.7 | 71 | przejscie_koryt_zamknie | I8.5 |
| 58 | tarcza_tv5_otwarta | I7.0 | 72 | przejscie_koryt_blok | I8.6 |
| 59 | tarcza_tv5_zamknieta | I7.1 | 73 | kontr_nad_wiazk_w_terap | I8.7 |
| 60 | tarcza_tv5_zamk_otw | I7.2 | 74 | kontr_nad_wiazk_w_cyklo | I9.0 |
| 61 | tarcza_tv6_otwarta | I7.3 | 75 | zrodlo_zal_wyl | I9.1 |
| 62 | tarcza_tv6_zamknieta | I7.4 | 76 | magnes_zal_wyl | I9.2 |
| 63 | tarcza_tv6_zamk_otw | I7.5 | 77 | sys_chlodzenia_dziala | I9.3 |
| 64 | tarcza_tv7_otwarta | I7.6 | 78 | sys_prozniowy_dziala | I9.4 |
| 65 | tarcza_tv7_zamknieta | I7.7 | 79 | sys_wcz_dziala | I9.5 |
| 66 | tarcza_tv7_zamk_otw | I8.0 | 80 | sys_zas_energi_elektry | I9.6 |
| 67 | tarcza_tv8_otwarta | I8.1 | | | |

Tabela 2. Wykaz wejść sterownika.

Tabela 1 zawiera przypisanie konkretnego wejścia sterownika przemysłowego do elementu kontrolowanego, np. sygnały z krańcówek tarcz, drzwi określające stan w którym się znajdują (czy są one otwarte czy zamknięte). Wyszczególniono również sygnały o stanie podsystemów takich jak system chłodzenia czy też próżni w cyklotronie. Doprowadzone zostały również sygnały z pulpitu sterowniczego np. określające stan pracy cyklotronu.

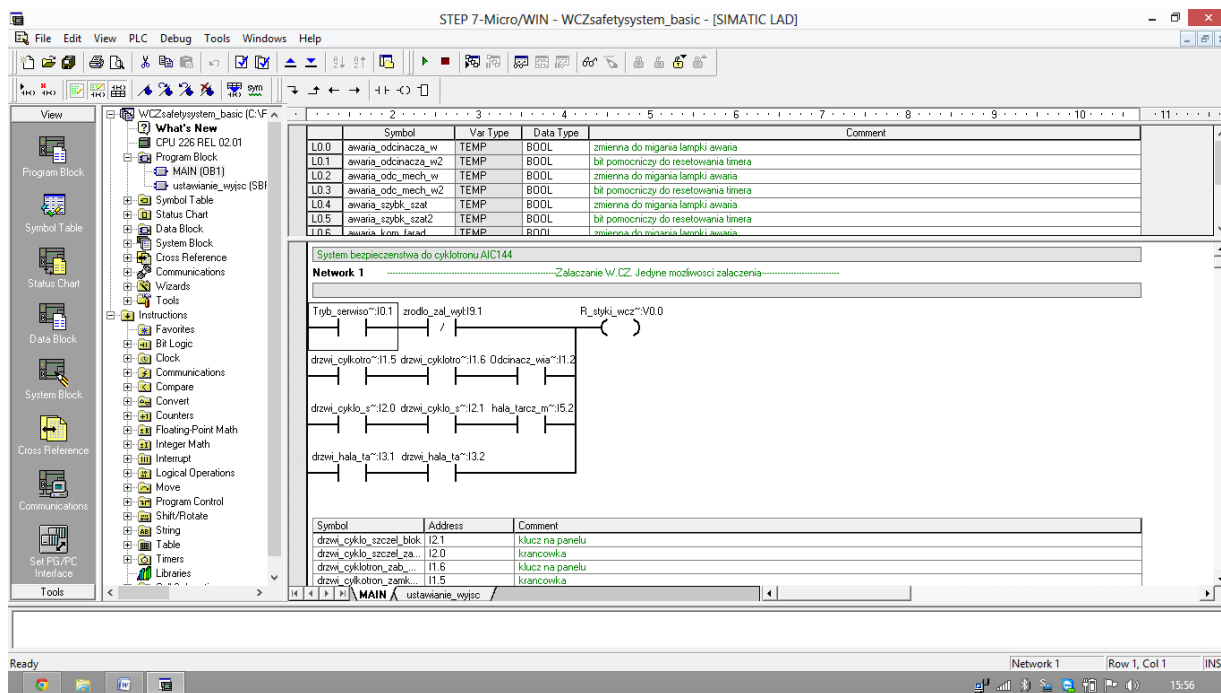
| LP | Symbol | Adres w sterowniku | LP | Symbol | Adres w sterowniku |
|----|-----------------------|--------------------|----|-------------------------|--------------------|
| 1 | styki_wcz_zw_rozw | Q0.0 | 15 | kontr_wiaz_u_terapeutow | Q1.6 |
| 2 | odcinacz_zamknij | Q0.1 | 16 | awaria | Q1.7 |
| 3 | odcinacz_otworz | Q0.2 | 17 | ster_odc_w_pok_terapeut | Q3.0 |
| 4 | mech_odc_otworz | Q0.3 | 18 | awaria_odcinacza_wiazki | Q3.1 |
| 5 | mech_odc_zamknij | Q0.4 | 19 | awaria_szybkiego_odc_wi | Q3.2 |
| 6 | tryb_normalny | Q0.5 | 20 | wsun_kom_faradaya | Q3.3 |
| 7 | tryb_serwisowy | Q0.6 | 21 | wysun_kom_faradaya | Q3.4 |
| 8 | zatrzymanie_postoj | Q0.7 | 22 | awaria_komory_faradaya | Q3.5 |
| 9 | praca_hala_cyklotronu | Q1.0 | 23 | wsun_fol_rozpr | Q3.6 |
| 10 | praca_hala_tarczowa | Q1.1 | 24 | wysun_fol_rozpr | Q3.7 |
| 11 | praca_terapia | Q1.2 | 25 | awaria_fol_rozpr | Q4.0 |

| | | | | | |
|----|-------------------------|------|----|-------------------------|------|
| 12 | wiaz_got_na_odcinaczu | Q1.3 | 26 | awar_odcin_wia_MECH | Q4.3 |
| 13 | dostrajanie_wiazki | Q1.4 | 27 | w_na_ha_tarII_i_hal_ter | Q4.6 |
| 14 | wiazka_w_trakcie_dostra | Q1.5 | 28 | tarcze_tv_otworz | Q4.7 |

Tabela 2. Wykaz wyjść sterownika

Tabela 2 zawiera wykaz przypisań wyjść sterownika przemysłowego do konkretnych elementów sterujących np. otwieranie lub zamykanie odcinaczy wiązki. Sterowane są również sygnały kontrolujące sygnalizatory awarii jakiegoś elementu lub jego stan.

Algorytmy sterowania sygnałami zaimplementowane zostaną w sterowniku PLC, którym będzie Siemens S-200 z dodatkowymi rozszerzeniami o porty wejść i wyjść jak również moduł komunikacji Ethernetowej. Środowisko programowe dostarczone wraz ze sterownikiem PLC to STEP7-Micro/WIN. Rys. 5 przedstawia widok środowiska programowania.



Rys.5. Środowisko programowania sterownika S7-200

Program sterownika podzielony będzie na dwa główne bloki:

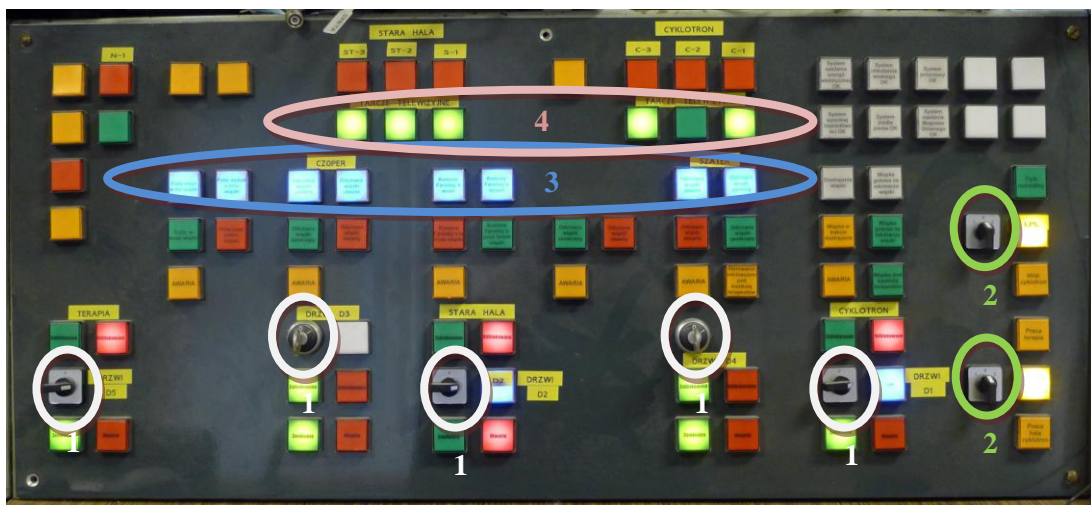
- blok przetwarzania sygnałów wejściowych/wyjściowych wraz z algorytmami automatyzującymi proces,
- blok odpowiedzialny za ustawianie wyjść.

Wszystkie parametry (wejściowe i wyjściowe) są sprawdzane oraz odczytywane cyklicznie. W związku z tym ustawianie wyjść realizowane jest na końcu każdego cyklu sterownika o ustalonym czasie trwania (100 ms). Jest to zarazem najdłuższe opóźnienie jakie może zaistnieć pomiędzy czasem wystąpienia zdarzenia, a reakcją na to zdarzenie (np. zamknięcie szatera w wypadku nieautoryzowanego otwarcia drzwi lub żądaniem wysterowania urządzenia przez operatora, a rzeczywistym wysłaniem tego żądania do odbiornika). Stabilność urządzenia PLC zapewnia tzw. *WatchDog* jest to proces, który sprawdza pracę sterownika. W przypadku, gdy urządzenie wpadnie w tzw. *dead-loop* (czyli zawiesi się) tracąc możliwość kontroli nad systemem w jakim pracuje, resetuje on sterownik i wznawia pracę programu. Jest to jedna z największych zalet tych urządzeń, która sprawia, że można użyć ich do zadań wymagających ciągłej gotowości [6].

Wszelkie operacje na urządzeniach peryferyjnych są sygnalizowane poprzez odpowiadające sygnalizatory świetlne na panelu operatorskim np. status włącznika głównego toru sygnału wysokiej częstotliwości *otwarty/zamknięty*, stany drzwi, szaterów, tarcz, jak również awarii tychże elementów.



Rys.6. Pulpit cyklotronu AIC-144



Rys.6. Panel sterowniczy pulpitu operatorskiego :

1. Przełączniki blokady drzwi
 2. Przełączniki trybu pracy akceleratora
 3. Od lewej: sterowanie folią rozpraszającą, sterowanie czoperem, sterowanie komorą Faradaya, sterowanie szaterem
 4. Informacja położenia tarcz telewizyjnych
- Ponadto na panelu znajdują się diody informacyjne Awaria (dla nieokreślonej pozycji elementów ruchomych) oraz inne sygnalizujące pracę urządzeń

5. Literatura

1. Scharf W: Akceleratory biomedyczne. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 1994.
2. Daniel K, Bochenek-Dobrowolski R, Doruch H i in.: Przystosowanie cyklotronu AIC-144 do zastosowań medycznych Część 2. Korekta pola magnetycznego, modernizacja traktu wiązki. Raport IFJ PAN nr 1991/AP. Kraków 2006.
3. Derlecki S: Metrologia elektryczna i elektroniczna. Politechnika Łódzka. Łódź 2010
4. Winiecki W, Nowak J, Stanik S: Graficzne zintegrowane środowiska programowania. Wydawnictwo MIKOM. Warszawa 2001.
5. Spolsky J. Projektowanie interfejsu użytkownika. Poradnik dla programistów.
6. Siemens Simatic S7-200, Programmable Controller System Manual, Edition 09/2007