

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

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

Kraków, grudzień 2014

Raport Nr. 2079/AP

Eksplatacja Cyklotronu AIC-144
przystosowanego do celów medycznych cz. 2
Sprawozdanie za rok 2014

Agnieszka Rogóż-Duda^{1,2}, Maciej Sumera¹, Paweł Bogdali¹, Robert Cieślik¹, Ryszard Grzybek¹,
Andrzej Koczot¹, Bogdan Lipka¹, Henryk Michałowski¹, Janusz Molęda¹, Tadeusz Norys¹,
Wojciech Pyzioł¹, Marek Ruszel¹, Bogusław Sałach¹, Artur Sroka¹, Jacek Sulikowski¹

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

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

Abstract:

Cyclotron AIC-144 is located in Krakow at the Institute of Nuclear Physics. It is currently used in proton radiotherapy ocular melanoma. This report presents the current state of the cyclotron and presents the work that was done in 2014.

The report describes the distillate flow control module in the primary cooling circuit cyclotron AIC-144, cooling system, temperature measurement system and quality management system.

The report pays particular attention to the issue of innovation, complexity and precision of action components.

To ensure a steady state operation of the cyclotron systems ensure the stability of the temperature of the distillate. In order to avoid deviations from the established requirements Cyclotron Department has created a quality management system.

Spis treści

1. Wstęp.....	2
2. System zarządzania jakością.....	3
3. System chłodzenia cyklotronu AIC-144.....	10
4. Moduł kontroli przepływu wody demineralizowanej w pierwotnym obwodzie chłodzenia cyklotronu AIC-144.....	17
5. System pomiaru temperatur	21
6. Bibliografia.....	26

1. Wstęp

Złożoność zagadnień związanych z eksploatacją Cyklotronu AIC-144 skłoniła autorów tekstu do stworzenia drugiej części raportu o tej samej nazwie co zeszłoroczna publikacja [16]. Jest ona rozwinięciem tematyki stabilizacji termicznej, a także problematyki zarządzania jakością w naszym dziale. Cyklotron AIC-144 jest wykorzystywany do terapii oka, a także do naświetlania izotopów o czym była mowa w pierwszej części raportu [17,18,19].

W roku 2014 dzięki bezawaryjnej pracy urządzeń, właściwemu zarządzaniu oraz zaangażowaniu pracowników udało się osiągnąć kolejny sukces. A mianowicie zrealizowano 49 sesji radioterapeutycznych, co stanowi prawie dwukrotny wzrost liczby naświetleń pacjentów w stosunku do roku ubiegłego. W tym roku Cyklotron AIC-144 pracował przez około 5000 godzin, natomiast układ próżniowy około 8000 godzin, co daje 25% wzrost

aktywności akceleratora. Przy współpracy z zespołem prof. dr hab. Jerzego Mietelskiego z Zakładu Fizykochemii Jądrowej IFJ PAN wykonano 12 sesji aktywacji siedmiu rodzajów izotopów przedstawionych w Tabeli 1.

Tabela 1. Wykaz aktywowanych izotopów.

Lp.	Materiał naświetlany	Główny nuklid powstały w wyniku reakcji
1	Bizmut [Bi]	Polon [²¹⁰ Po]
2	Potasu bromek [KBr]	Stront [⁸⁵ Sr]
3	Potasu jodek [KI]	Jod [¹²³ I]
4	Ruten [Ru]	Rod [Rh]
5	Rod [Rh]	Pallad [¹⁰³ Pd]
6	Uran [²³⁸ U]	Neptun [²³⁴ Np]
7	Thor [Th]	Proaktyn [Pa]

2. System zarządzania jakością

W celu uniknięcia odstępstw od założonych wymagań w Dziale Cyklotronu AIC-144 stworzony został spis zasadniczych przyczyn, które mogą powodować zakłócenie bezpieczeństwa pacjenta oraz personelu. Rozmieszczone są one przede wszystkim w zakresie błędów ludzkich oraz właściwego zarządzania. Przyczyny te można podzielić na [8,10]:

- jawne – będące następstwem kontaktów z pacjentem,
- ukryte – wynikające z zachowania pracowników,
- pośrednie (organizacyjne) – wynikające z procesów, komunikacji wewnętrznej i kultury organizacji,
- techniczne – powstające w wyniku wad urządzeń, materiałów i usług.

Do analizy problemu zastosowano diagram Ishikawy, przy czym wyodrębniono 6 głównych przyczyn: ludzie, materiały, czynniki środowiskowe, metoda, urządzenia oraz pomiary. Następnie dokonano logicznej konstrukcji przyczyn drugiego rzędu (podprzyczyn). Dodatkowo użyto metody porównania parami i ustalono wagi względne przyczyn głównych (Tabela 2 i 3) i przyczyn drugiego rzędu.

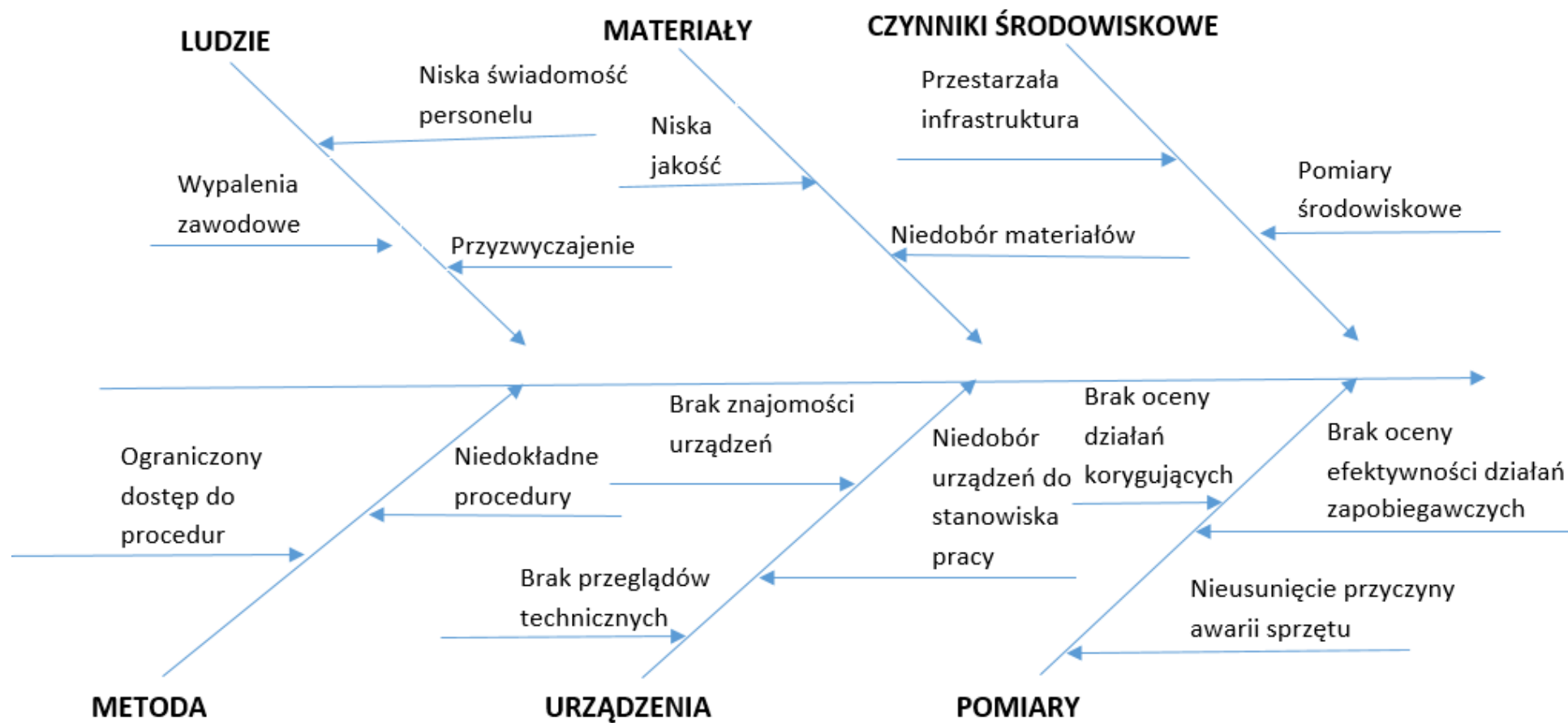
Tabela 2. Zasada określenia wad na poziomie przyczyn głównych [1].

	Ludzie	Materiały	Czynniki środowiskowe	Metoda	Urządzenia	Pomiary	Łącznie (X)	Waga względna (X/Y)
<i>Ludzie</i>	x	1	1	0,5	1	1	4,5	0,053
<i>Materiały</i>	1	x	0,5	0,5	1	1	8,5	0,099
<i>Czynniki środowiskowe</i>	1	0,5	x	0,5	1	1	12,5	0,146
<i>Metoda</i>	1	0,5	0,5	x	0,5	0,5	15,5	0,181
<i>Urządzenia</i>	1	1	1	0,5	x	1	20	0,234
<i>Pomiary</i>	1	1	1	0,5	1	x	24,5	0,287
							Łącznie (Y)	85,5

Tabela 3. Przyczyny z wagami.

Przyczyna główna	Podprzyczyna	Waga przyczyny drugiego rzędu		Waga przyczyny głównej
		Wartość względna	Wartość bezwzględna	
Ludzie	Niska świadomość personelu	0,5	0,026	0,053
	Przyzwyczajenie	0,2	0,011	
	Wypalenie zawodowe	0,3	0,016	
Materiały	Niska jakość	0,5	0,050	0,099
	Niedobór materiałów	0,5	0,050	
Czynniki środowiskowe	Przestarzała infrastruktura	0,65	0,095	0,146
	Pomiary środowiskowe	0,35	0,050	
Metoda	Niedokładne procedury	0,6	0,109	0,181
	Ograniczony dostęp do procedur	0,4	0,072	
Urządzenia	Brak przeglądów technicznych	0,6	0,140	0,234
	Niedobór urządzeń do stanowiska pracy	0,2	0,047	
	Brak znajomości urządzeń	0,2	0,047	
Pomiary	Brak oceny efektywności działań zapobiegawczych	0,3	0,086	0,287
	Brak oceny działań korygujących	0,3	0,086	
	Nieusunięcie przyczyny awarii sprzętu	0,4	0,115	

Diagram Ishikawy jest wykresem przyczynowo skutkowym. Służy on do przedstawienia graficznie zależności pomiędzy potencjalnymi przyczynami na dany skutek [1,2]. Na rysunku 1 zobrazowano przyczyny wystąpienia awarii, która ma wpływ na bezpieczeństwo pacjentów oraz personelu.



Rys. 1. Diagram Ishikawy dla potencjalnych przyczyn awarii cyklotronu.

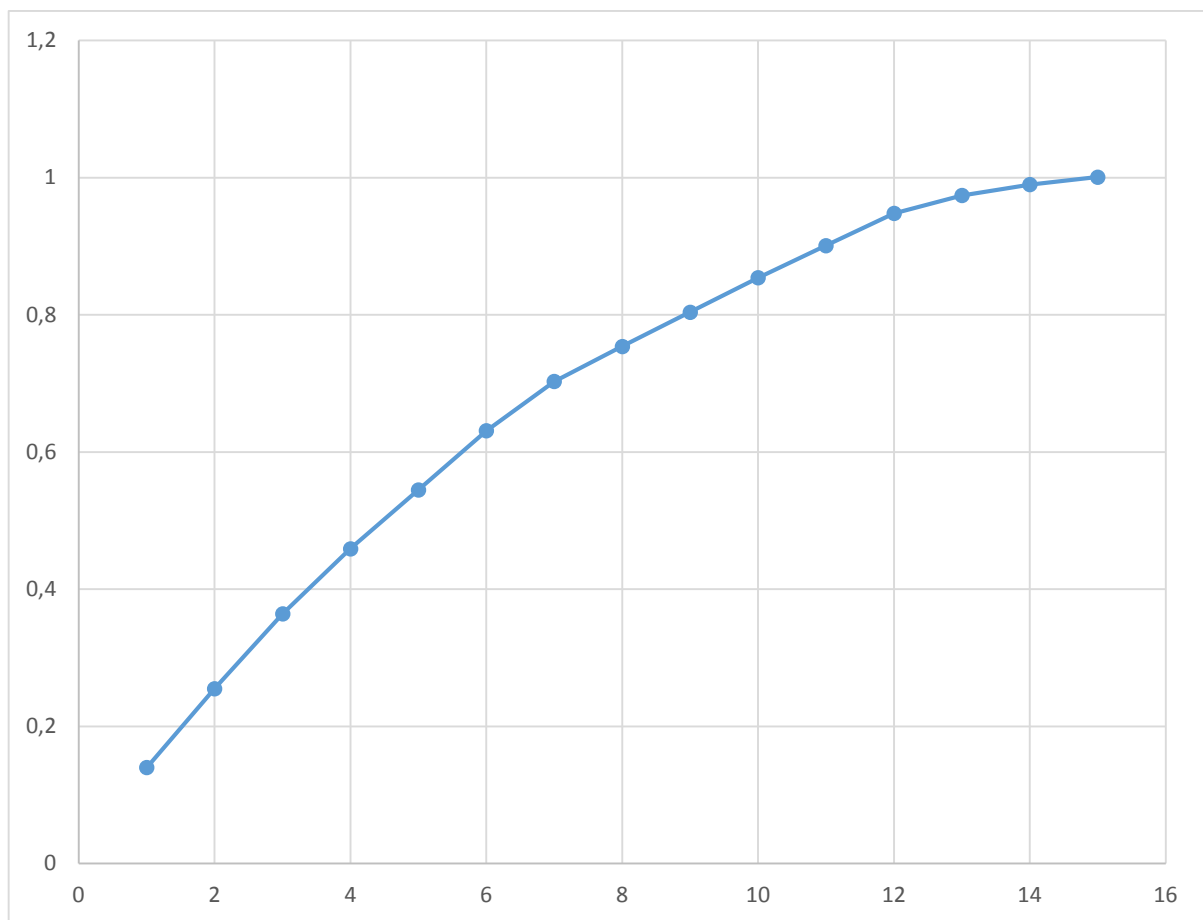
Aby móc określić najważniejsze przyczyny uzyskane wyniki zgromadzono (z ważonego wykresu Ishikawy) w kolejności od największej do najmniejszej wagi bezwzględnej (Tabela 4) [8,9]. Dane te posłużyły do przeprowadzenia analizy stratyfikacyjnej bazującej na regule Pareto. Reguła ta pozwala na wydzielenie grup podprzyczyn o ważności największej.

Tabela 4. Analiza stratyfikacyjna.

Lp.	Podprzyczyna	Waga bezwzględna	Waga skumulowana	Pole odniesienia
1	Urządzenia - brak przeglądów technicznych	0,14	0,14	10,183
2	Pomiary - nieusunięcie przyczyny awarii sprzętu	0,115	0,255	9,928
3	Metoda – niedokładne procedury	0,109	0,364	9,564
4	Czynniki środowiskowe - przestarzała infrastruktura	0,095	0,459	9,105
5	Pomiary - brak oceny efektywności działań zapobiegawczych	0,086	0,545	8,560
6	Pomiary - brak oceny działań korygujących	0,086	0,631	7,929
7	Metoda - ograniczony dostęp do procedur	0,072	0,703	7,226
8	Czynniki środowiskowe - pomiary środowiskowe	0,051	0,754	6,472
9	Materiały - niska jakość	0,05	0,804	5,668
10	Materiały - niedobór materiałów	0,05	0,854	4,814

11	Urządzenia - niedobór urządzeń do stanowiska pracy	0,047	0,901	3,913
12	Urządzenia - brak znajomości urządzeń	0,047	0,948	2,965
13	Ludzie - niska świadomość personelu	0,026	0,974	1,991
14	Ludzie - wypalenie zawodowe	0,016	0,99	1,001
15	Ludzie - przyzwyczajenie	0,011	1,001	0

Granica stratyfikacji przebiega powyżej 8. Oznacza to podział na podprzyczyny ważne (od 1 do 5) i mniej ważne (od 6 do 15), co pokazuje rysunek 2.



Rys 2. Diagram Pareto.

Przeprowadzona analiza ryzyka wystąpienia awarii umożliwiła wysunięcie najważniejszych podprzyczyn:

- brak przeglądów technicznych,
- nieusunięcie przyczyn wcześniejszych awarii,
- niedokładne procedury,
- przestarzała infrastruktura,
- brak oceny efektywności działań zapobiegawczych.

Aby zapobiec awarii na Dziale Cyklotronu AIC-144 stosuje się środki zaradcze. Do najważniejszych z nich, zgodnie z regułą Pareto, należy:

- systematyczny przegląd dokumentacji.

W Dziale Cyklotronu dostępne są następujące dokumenty:

- dokumenty systemu zarządzania (Księga Jakości, Księga procedur, instrukcji i formularzy technicznych, Księga procedur systemowych),
- dokumenty normalizacyjne (normy ISO),
- dokumenty prawne (rozporządzenia, ustawy).

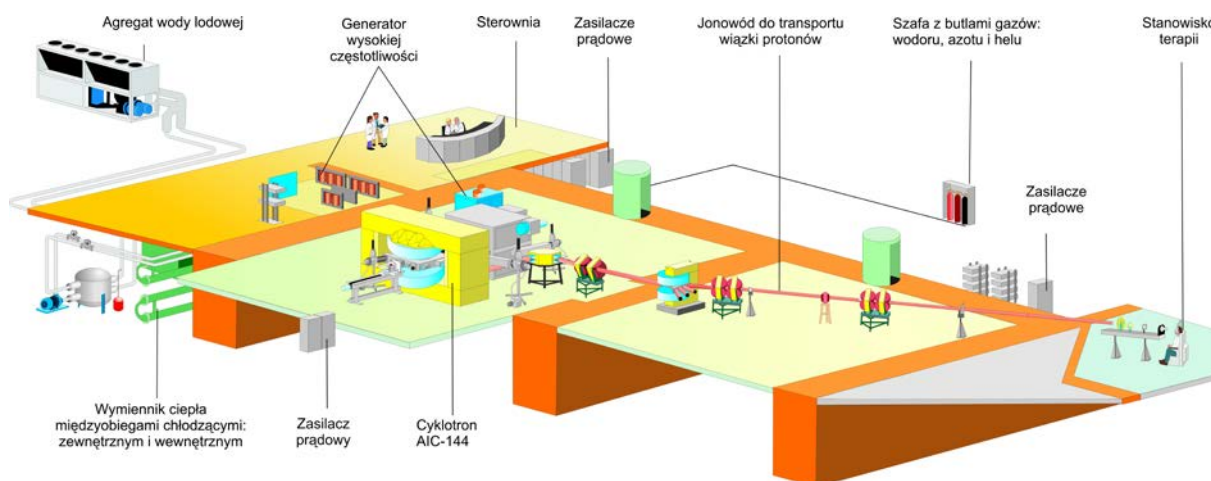
Dokumenty systemu zarządzania jakością są opracowywane i aktualizowane na etapie doskonalenia systemu. Dodatkowo dokumenty te są przechowywane w sposób zapewniający ich dostępność. Pełnomocnik ds. Jakości raz w roku przeprowadza przegląd dokumentacji celem potwierdzenia ich przydatności oraz skuteczności wprowadzania działań zapobiegawczych.

- Naprawa urządzeń, wzorcowanie oraz serwis podzespołów Cyklotronu AIC-144 zgodnie z harmonogramem ustalonym z Kierownikiem Działu AIC-144.
- Tworzenie innowacyjnych rozwiązań technologicznych pomagających utrzymaniu bezpieczeństwa pracowników.
- Wprowadzenie rejestru użytkownika urządzenia.
- Przeprowadzanie szkoleń oraz dokumentowanie ich w „Karcie kompetencji pracownika”.
- Identyfikacja działań w pracowni w celu wyeliminowania przyczyny potencjalnej niezgodności.

3. System chłodzenia cyklotronu AIC-144.

System chłodzenia cyklotronu spełnia zasadniczą rolę jako jeden z podzespołów Cyklotronu AIC-144 ze względu na swoją złożoność oraz na precyzję działania.

Od lat 50 XX w. użytkowano klasyczny układ chłodzenia z wymiennikiem w postaci basenu zewnętrznego oddającego ciepło bezpośrednio do otoczenia. W roku 2011 układ ten został zmodyfikowany poprzez zastąpienie basenu kontenerem chłodniczym (rysunek 3).

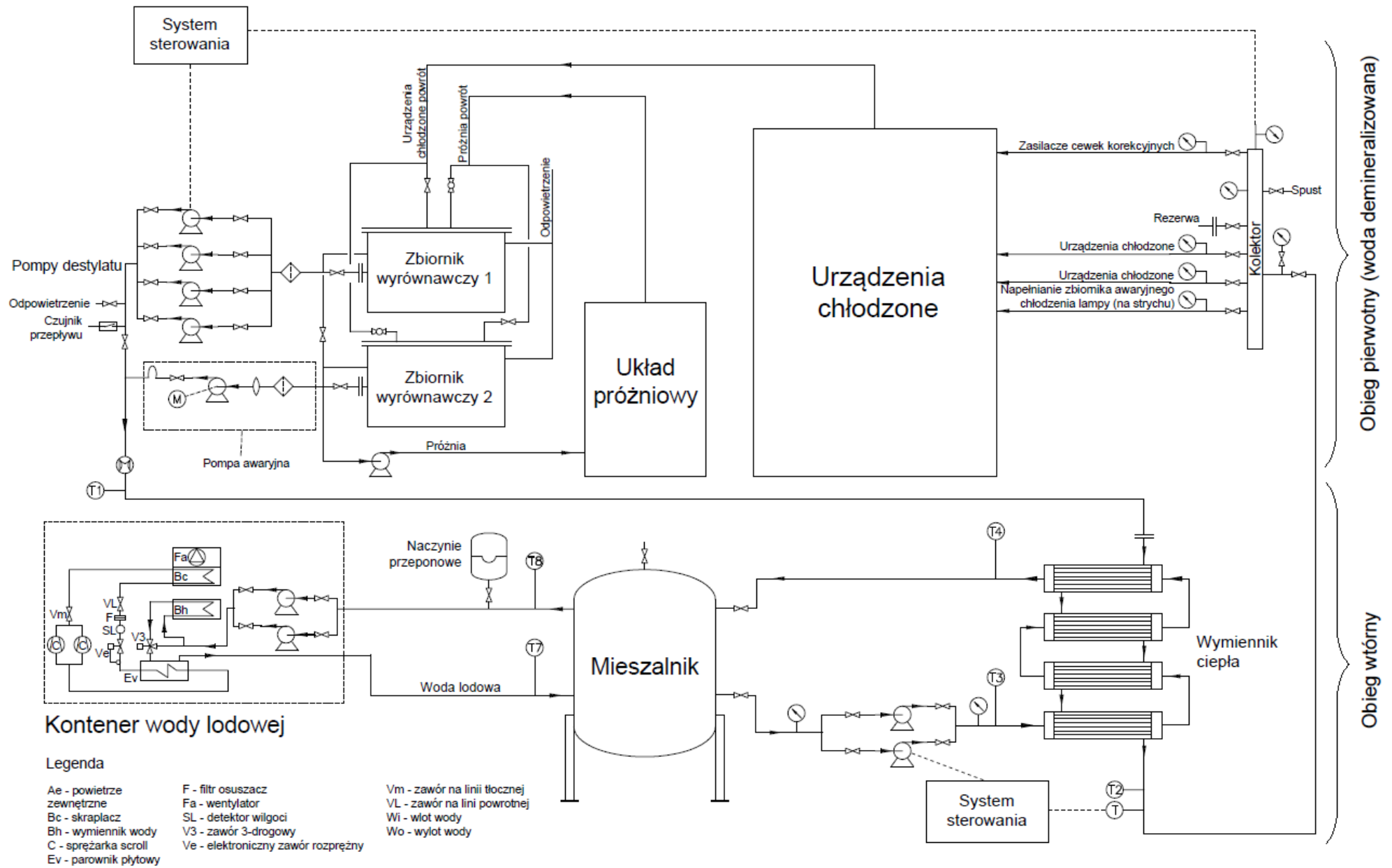


Rys 3. Rozmieszczenie podzespołów cyklotronu po modyfikacji układu chłodzenia.

Obecnie układ składa się z dwóch obwodów chłodzenia (rysunek 4):

- pierwotnego (wewnętrznego) - gdzie czynnikiem chłodzącym jest woda demineralizowana,
- wtórnego (zewnętrznego) - odprowadzającego ciepło do kontenera chłodniczego - gdzie czynnikiem chłodzącym jest płyn niezamarzający na bazie glikolu etylenowego.

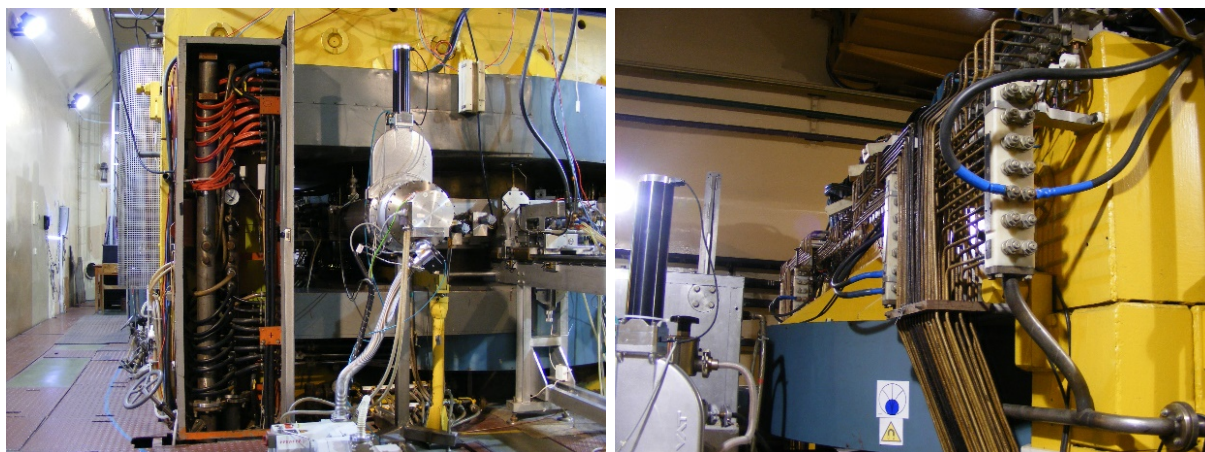
Aby zapewnić ustalone warunki pracy cyklotronu system czuwa nad stabilnością temperatury wody demineralizowanej (na zasilaniu urządzeń temperatura 24°C z tolerancją $0,2^{\circ}\text{C}$). Ważne jest, aby system szybko reagował na zmiany obciążenia cieplnego oraz zmiany temperatur zewnętrznych (otoczenia). Po odebraniu ciepła od schładzanych urządzeń woda demineralizowana trafia do zbiornika wyrównawczego, z którego przepompowywana jest do wymiennika ciepła przez pompy obiegu pierwotnego. W wymienniku woda oddaje pobrane od urządzeń ciepło do obwodu wtórnego.



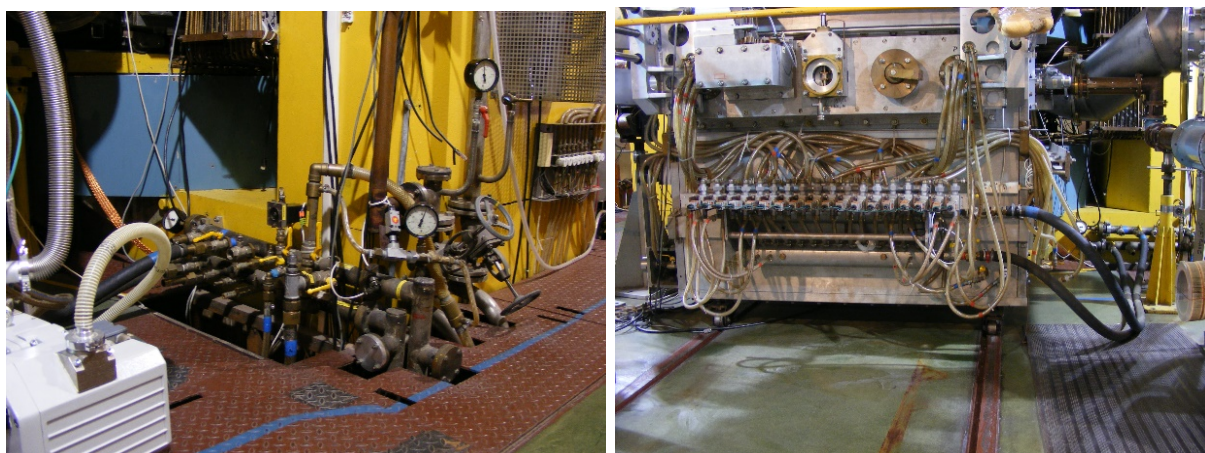
Rys. 4. Schemat blokowy układu chłodzenia.

W skład pierwotnego układu chłodzenia cyklotronu wchodzi:

- Elementy, podzespoły i urządzenia chłodzone takie jak: uzwojenia magnesu głównego, cewek korekcyjnych oraz uzwojenie magnesu skręcającego M1, pompy próżniowe, lampy elektronowe dużej mocy, elementy indukcyjne generatora wysokiej częstotliwości, elementy rezonatora wraz z jego komorą, itd.



Rys. 5. Kolektory doprowadzające wodę demineralizowaną do uzwojenia magnesu głównego (po prawej) oraz cewek korekcyjnych (po lewej).



Rys. 6. Kolektory dla części w.cz.

- Zbiornik wyrównawczy wody demineralizowanej o pojemności około $5,4\text{m}^3$ - ma za zadanie kompensowanie ubytków wody w obiegu pierwotnym oraz zwiększenie bezwładności cieplnej układu (rysunek 7).



Rys. 7. Zbiornik wyrównawczy wody demineralizowanej.

- Pompy – mają za zadanie zapewnić obieg wody demineralizowanej (rysunek 8) [11].



Rys. 8. Pompy wody demineralizowanej.

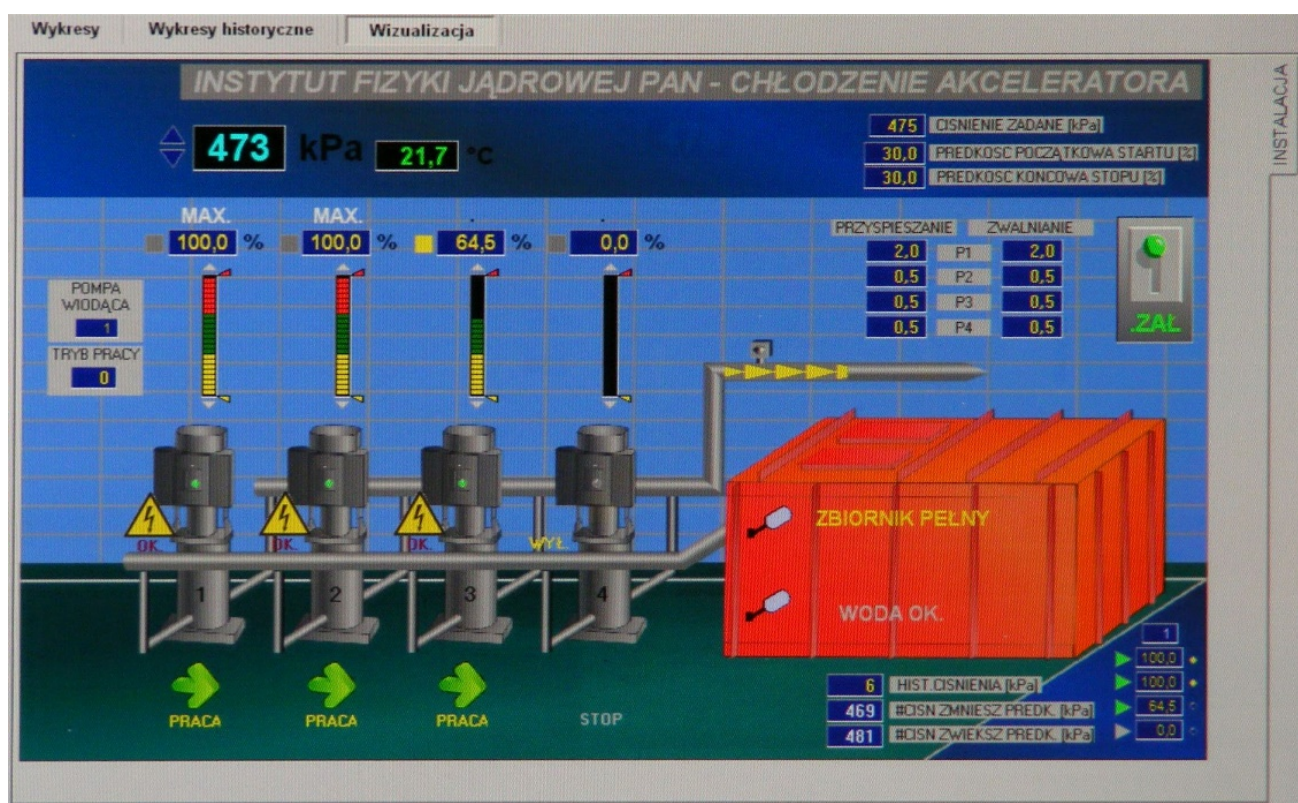
- Wymiennik ciepła wyprodukowany przez Wyrskie Zakłady Budowy Urządzeń Chemicznych Typ C1716 – ma za zadanie przekazywanie energii cieplnej z obwodu pierwotnego do wtórnego (rysunek 9).



Rys. 9. Wymiennik ciepła i główny kolektor rozdzielający na jego wyjściu.

- Kolektory – mające zadanie rozdzielanie wody demineralizowanej na poszczególne urządzenia (rysunek 9).

Wspomniane wcześniej trzy pompy w obiegu pierwotnym pracują równolegle i są tak sterowane, aby utrzymywały zadane ciśnienie za wymiennikiem na kolektorze zasilającym około 500kPa. Czwarta pompa jest pompą rezerwową. W układzie zastosowano pompy GRUNDFOS CRE 10-09 o wydajności 10m³/h z silnikami GRUNDFOS MGE 100LC2 o mocy 3kW [11]. Dla bieżącej kontroli układu sygnały z czujników i sterownika są wyświetlane na komputerze na pulpicie dzięki zainstalowanej tam aplikacji [3]. Program monitoruje pracę pomp, przepływ wody demineralizowanej i jej poziom w zbiorniku wyrównawczym, a także sygnalizuje zaistniałe awarie (rysunek 10).



Rys. 10. Aplikacja kontroli pracy pomp na jednym z monitorów.

Układ wytwarzania próżni chłodzony jest przez osobną pompę. Pracuje tutaj pompa GRUNDFOS CRE1-23 o wydajności 1,8m³/h z silnikiem GRUNDFOS MGE80B2 o mocy 1,1kW (rysunek 11) [11].



Rys. 11. Pompa obwodu chłodzącego układu wytwarzania próżni [11].

Obieg wtórny, w którym krąży płyn niezamarzający (mieszanka glikolu etylenowego z wodą) składa się z następujących elementów:

- Kontenera chłodniczego z pompą wymuszającą obieg glikolu do mieszalnika (rysunek 12).



Rys. 12. Kontener chłodniczy [4].

- Wymiennika ciepła w którym ciepło jest odbierane od obwodu pierwotnego (rysunek 9).
- Mieszalnika, tak zwanego sprzęgła termicznego (rysunek 13).



Rys. 13. Mieszalnik z naczyniem przeponowym [12].

- Naczynia przeponowego kompensującego rozszerzalność cieplną płynu chłodniczego (rysunek 13). Instalacja obwodu wtórnego chłodzenia jest instalacją zamkniętą (ciśnieniową) o ciśnieniu pomiędzy 2,5-3,0 bara.

Naczynie przeponowe firmy REFLEX NG posiada pojemność 100 litrów i ciśnienie robocze 1,5-6 barów [12].

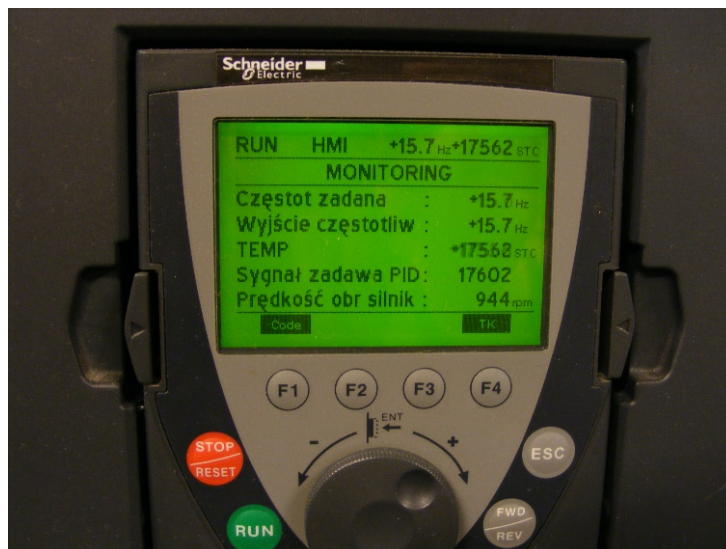
- Pompy o regulowanej wydajności są zdublowane tak, że w przypadku awarii jednej z nich istnieje możliwość przełączenia na drugą rezerwową (rysunek 14).



Rys. 14. Pompa o regulowanej wydajności [15].

Ciepło z obwodu wtórnego oddawane jest do otoczenia poprzez kontener chłodniczy WSAT-XSC2110D firmy CLIVET [4]. Maksymalna moc chłodzenia kontenera chłodniczego uzależniona jest od temperatury otoczenia. W kontenerze do wymuszenia przepływu płynu chłodniczego w obwodzie wtórnym zastosowano pompę LOWARA FHE4 65-250/55/P

o wydajności maksymalnej 84m³/h z silnikiem LOWARA PLM4132B14S3/355 o mocy 5,5kW [15].



Rys. 15. Sterownik pompy o regulowanej wydajności.

Sterownik pompy o regulowanej wydajności (pompującej płyn chłodniczy do wymiennika) analizuje temperaturę wody demineralizowanej w obwodzie pierwotnym na wyjściu z wymiennika i tak steruje obrotami pompy, aby jego temperatura po wyjściu z wymiennika wynosiła dokładnie 24°C [5]. Zastosowano tutaj pompy LOWARA FHE 50-160/55/P o wydajności maksymalnej 84m³/h z silnikiem LOWARA PLM112B14S2/355 o mocy 5,5kW [15].

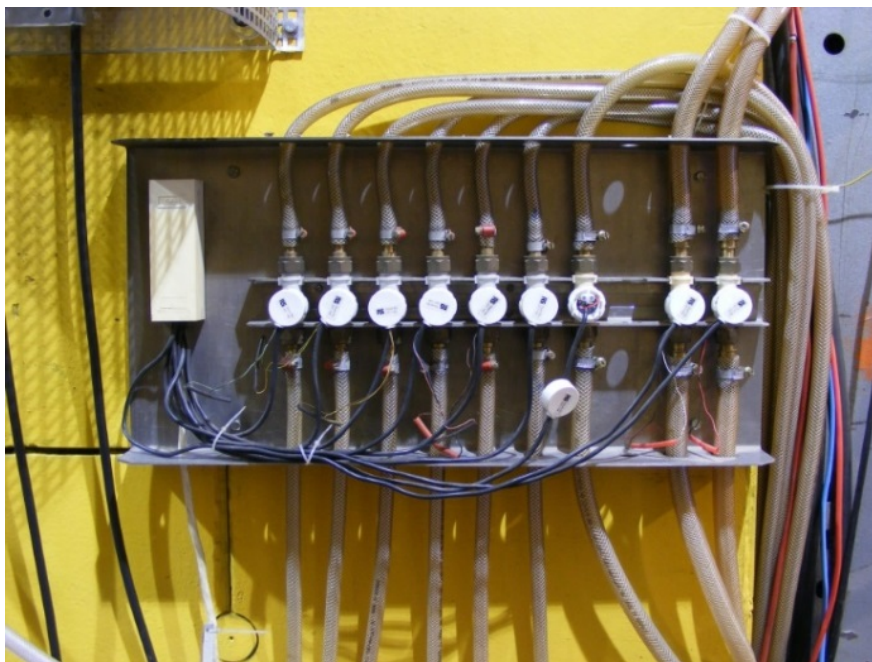
4. Moduł kontroli przepływu wody demineralizowanej w pierwotnym obwodzie chłodzenia cyklotronu AIC-144

W latach 1995-2000 zbudowano i zainstalowano na pulpicie sterowniczym cyklotronu AIC-144 moduł kontroli przepływu czynnika chłodzącego. Kontroluje on przepływ wody demineralizowanej w elementach schładzanych. Tego typu urządzenie ma na celu zabezpieczenie się przed bardzo poważnymi konsekwencjami awarii, jakie mogłyby wyniknąć na skutek przegrzania elementów.

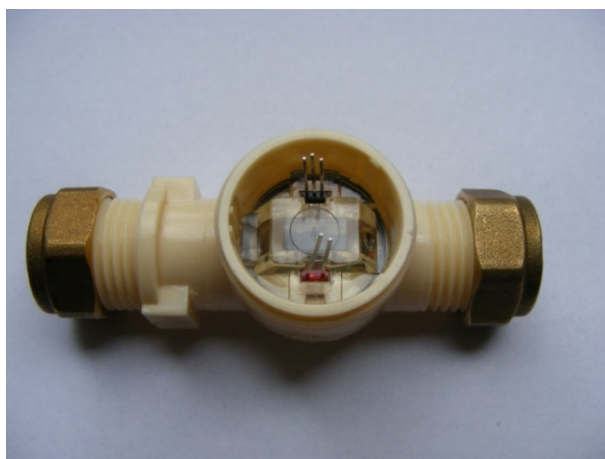


Rys. 16. Widok panelu z modułami kontroli przepływu .

W tym celu przez pracowników Instytutu z Działu Cyklotronu AIC-144 został zaprojektowany i wykonany moduł elektroniczny kontroli przepływu. Wraz z nim zostały zainstalowane czujniki przepływu (firmy RS, model 257-133) na oddzielnych obwodach urządzeń chłodzonych (rysunek 17 i 18) [13]. Czujniki te przekazują krótkie impulsy elektryczne do wyżej wymienionych modułów sygnalizując przepływ, a w razie jego braku wyłączają podzespoły. Sprawdzają również czy przepływ czynnika chłodzącego jest wystarczający. Dzięki nim możliwa jest kontrola przepływu w każdej osobnej gałęzi obwodu chłodzenia.



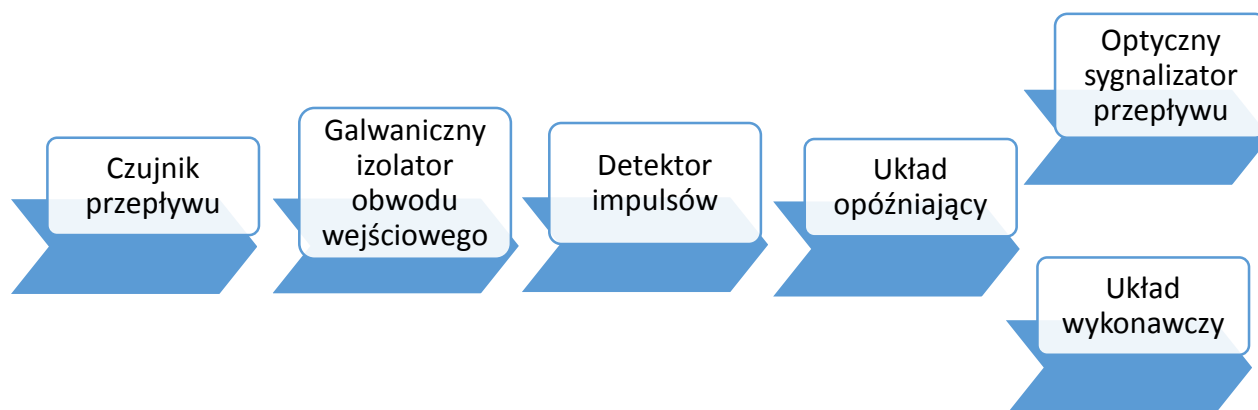
Rys. 17. Czujniki przepływu na hali cyklotronu [13].



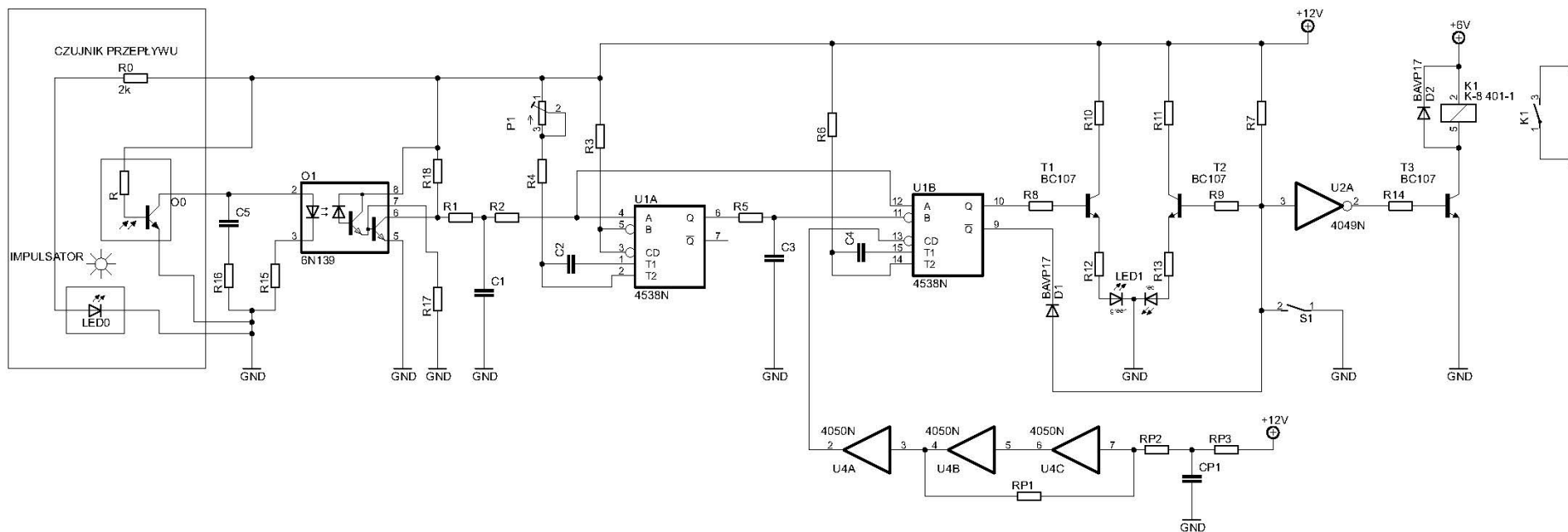
Rys. 18. Pojedynczy czujnik przepływu z widocznymi optoelementami i impulsatorem [13].

Moduły te pracują bez przerwy od lat dziewięćdziesiątych do dnia dzisiejszego. Są łatwe w serwisowaniu i jak do tej pory nie przysparzały większych problemów – pracują prawie bezawaryjnie. W związku z tym decyzja o ich zastępowaniu nowym systemem nie byłaby ekonomicznie uzasadniona. Jedynie dla zapewnienia możliwie jak najkrótszych przerw serwisowych, podczas terapii pacjentów na cyklotronie AIC-144, podjęto decyzję o zmontowaniu rezerwowego modułu kontroli przepływu. Moduł został odtworzony na wykonanej wcześniej płycie obwodu drukowanego.

Pojedynczy układ kontroli przepływu zbudowany jest z czujnika przepływu wody demineralizowanej, który podaje krótkie impulsy poprzez optoizolator ochronny na filtr i detektor impulsów (rysunek 19 i 20) [13]. Detektor to cyfrowy układ scalony CMOS MC14538 [14]. W drugiej części układu mamy możliwość wyregulowania opóźnienia z jakim możemy wyłączyć zasilacz lub inne urządzenie po zaniku przepływu. Kasetka kontroli posiada także wyprowadzoną sygnalizację optyczną przepływu każdego czujnika z osobna. Ma również możliwość wygaszenia nieużywanego wejścia.

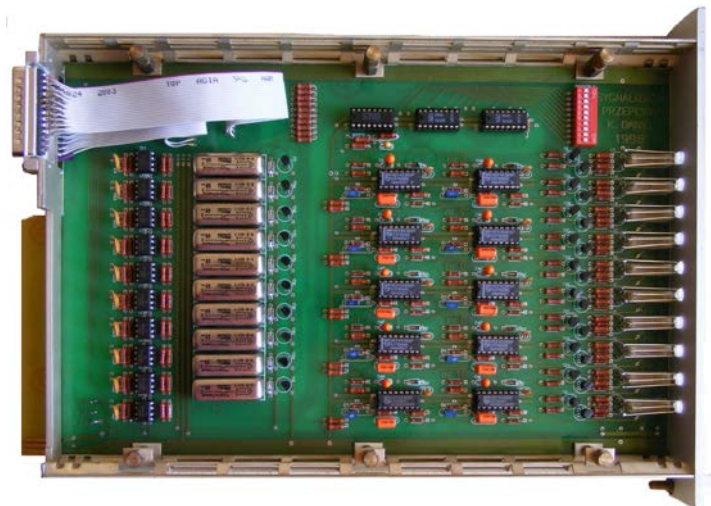


Rys. 19. Schemat blokowy pojedynczego układu kontroli przepływu.



Rys. 20. Schemat elektroniczny pojedynczego układu kontroli przepływu.

Poniższy moduł rezerwowy umożliwi szybką lokalizację miejsca uszkodzenia w przypadku awarii któregoś z przepływomierzy bądź zatkania jednego z wielu filtrów. Pozwoli on także na zastąpienie wadliwej kasety sygnalizacji w razie awarii jednej z nich. Przerwa serwisowa w pracy cyklotronu zostanie skrócona do minimum.



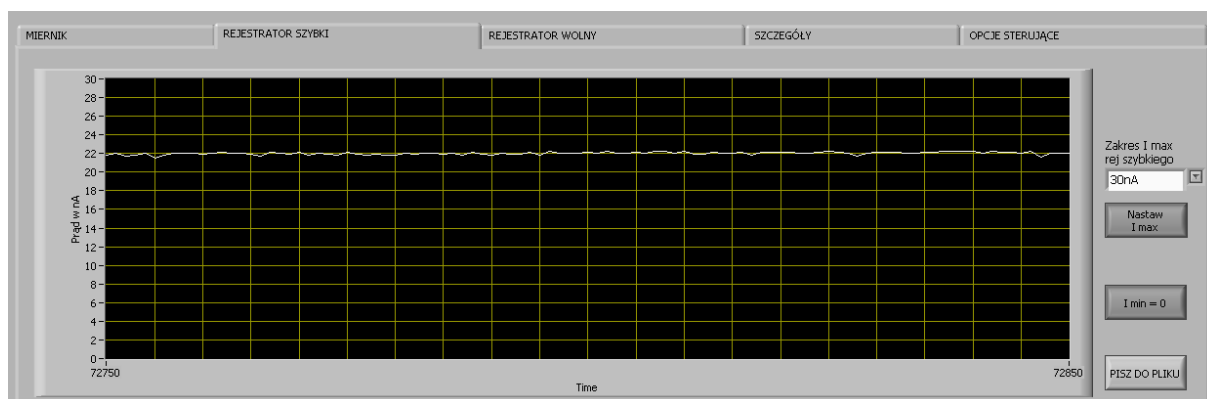
Rys. 21. Moduł zmontowany w całości razem z ramką (obudową) gotowy do zainstalowania w panelu kontroli przepływu.

Brak przepływu wody demineralizowanej, poprzez uzwojenia magnesu głównego oraz uzwojenia magnesu skręcającego M1, sygnalizowany jest również w programie sterującym zasilaczami na monitorze komputera na pulpicie sterowniczym akceleratora.

5. System pomiaru temperatur

Monitoring temperatur w systemie chłodzenia cyklotronu ma na celu [6]:

- poprawę stabilizacji termicznej urządzeń, tak by utrzymać parametry wiązki terapeutycznej w zakresie marginesu błędu (rysunek 22),



Rys. 22. Przykładowy zapis natężenia prądu wygenerowanego przez wiązkę protonów na tarczy głównego odcinacza wiązki (szatera).

- wczesne wykrycie awarii i błędów obsługi – alarm,
- zabezpieczenie urządzeń – blokada pracy.



Rys. 23. Ośmiokanałowy rejestrator elektroniczny MPI-8.

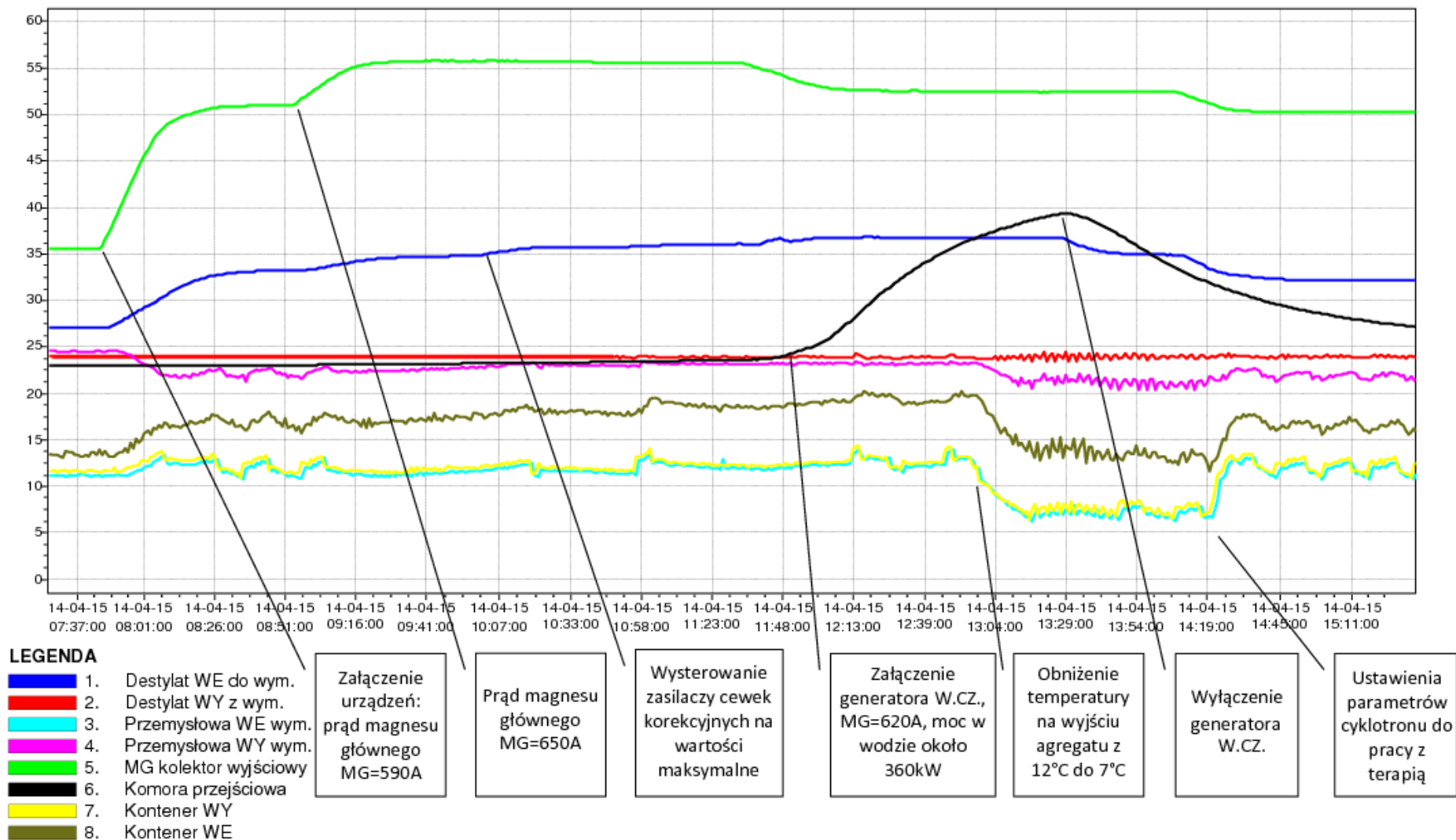
Do rejestracji temperatur używamy systemu opartego o rozwiązania firmy Metronic o nazwie MPI-8 (rysunek 23) [7]. Jest to rejestrator ośmiowejściowy z możliwością ustawienia blokad. Miernik MPI-8 jest mikroprocesorowym przyrządem pomiarowym z elektroniczną rejestracją wyników. Przyrząd przeznaczony jest do zastosowań przemysłowych, do montażu w panelach sterowniczych lub szafkach pomiarowych. Różnorodność dodatkowych funkcji oraz elastyczność konfiguracji pozwala na zastosowanie go w różnych układach pomiarowych.

Do analizy danych pomiarowych używamy oprogramowania MPI-8-raport [7]. Rysunek 24 przedstawia przykładowy zapis tej aplikacji, na którym zaznaczono istotne zmiany w pracy urządzeń Cyklotronu AIC-144. Jak widać obserwacja monitoringu temperatur pozwala określić stan pracy urządzeń. Natomiast dzięki archiwizacji danych pomiarowych mamy wgląd do historii pracy aparatury od początku zainstalowania systemu pomiarowego.

System pomiaru temperatur ma również zastosowanie do zabezpieczeń termicznych naszego akceleratora. Kluczowym parametrem z punktu widzenia zabezpieczeń jest pomiar temperatury na wyjściu wymiennika ciepła T2 (rysunek 4). Sygnał ten jest podawany na wejście 2 rejestratora MPI-8. Ewentualne błędy pomiaru temperatury na wyjściu wymiennika zaburzają proces prawidłowej regulacji.

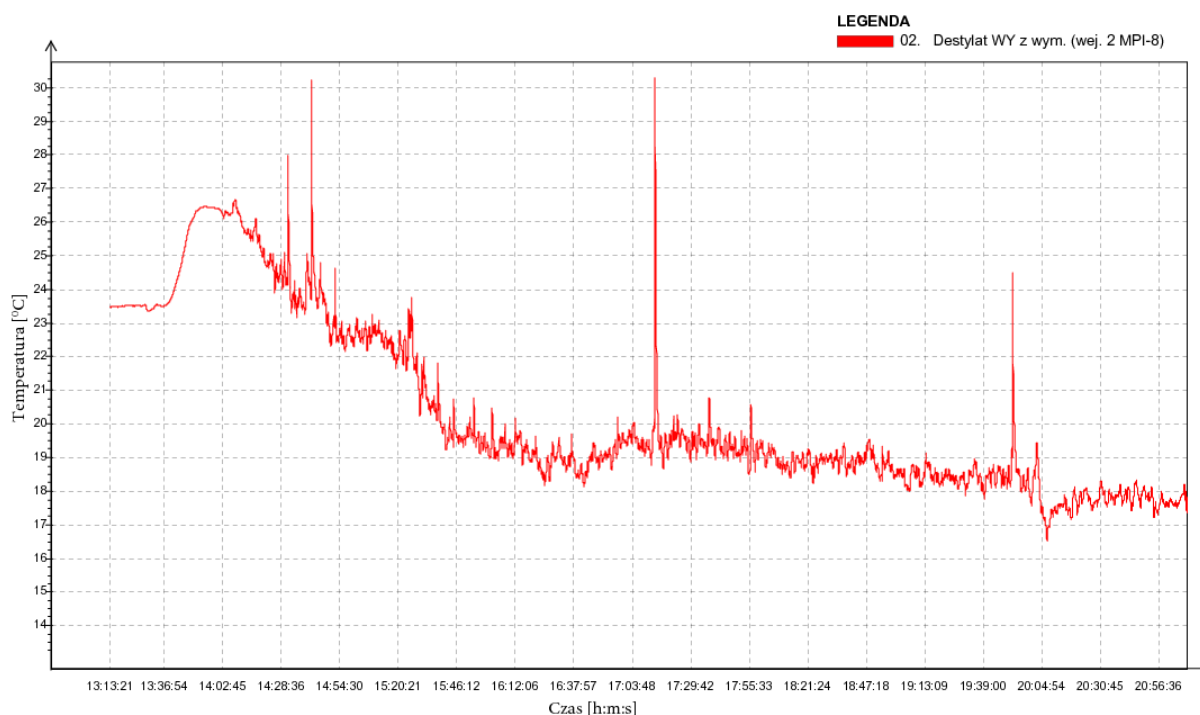
W poprzednich okresach dochodziło do niekontrolowanych wyłączeń zasilacza Magnesu Głównego, skutkiem których było:

- przechłodzenie urządzeń cyklotronu,
- gwałtowne ruchy komory w cyklotronie.



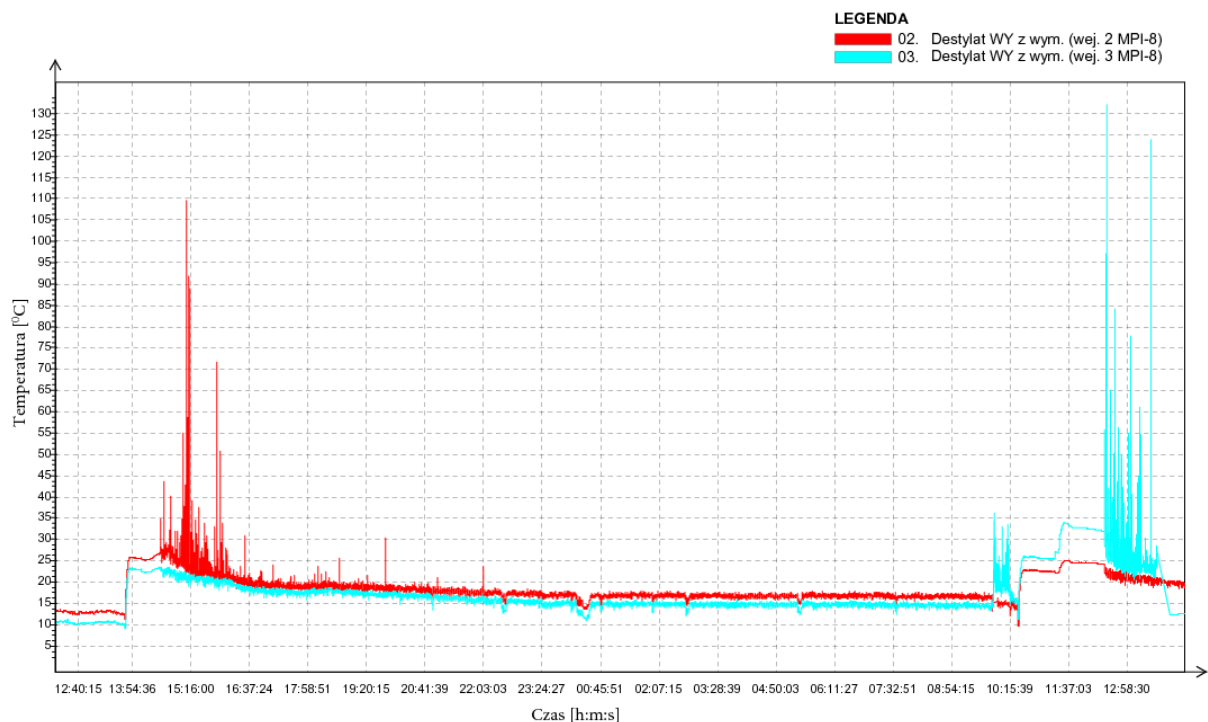
Rys. 24. Przykładowy zapis wygenerowany za pomocą programu MPI-8-raport obrazujący wpływ różnych stanów pracy urządzeń Cyklotronu AIC-144 na temperatury systemu chłodzenia

Była to sytuacja niekorzystna ze względu na niestabilność parametrów cyklotronu. Zdarzenia wyłączenia Magnesu Głównego miały częstotliwość nie większą niż jeden raz na miesiąc.



Rys. 25. Błędy pomiarowe na wej. 2 urządzenia MPI-8 przedstawione za pomocą programu MPI-8 RAPORT.

Analiza systemu chłodzenia wykazała związek pomiędzy systemem regulacji temperatur, ściślej mówiąc pomiarem temperatury wody demineralizowanej na wyjściu z wymiennika ciepła T2, a niekontrolowanymi wyłączeniami zasilacza Magnesu Głównego. Każde wyłączenie poprzedzone było informacją z rejestru urządzenia MPI-8 o błędzie pomiaru na wejściu nr 2. Kontrola stanu połączeń nie wykazała żadnych usterek. Podobnie jak jakość pomiarów czujnika na wejściu 2 rejestratora MPI-8. Analiza zapisów temperatur wykazała pewną prawidłowość. Mianowicie każde wyłączenie odbywało się podczas szybkich spadków temperatury wody demineralizowanej na wyjściu z wymiennika ciepła (rysunek 25). Sytuację potwierdziły pomiary z wykorzystaniem czujnika temperatury Pt-100 (również mierzącego temperaturę T2), ale będącego częścią regulacji obiegu wtórnego. W stanie stabilnym pomiary były porównywalne, ale w chwili spadku temperatury dochodziło do przerw w działaniu czujnika na wejściu 2 rejestratora MPI-8. Zamiana torów pomiarowych potwierdziła ewidentne uszkodzenie czujnika (rysunek 26).



Rys. 26. Porównanie działania czujników pomiaru temperatury T2.

Przerwa w pomiarze w urządzeniu MPI-8 interpretowana była jako przekroczenie progu alarmowego, co skutkowało załączeniem blokady i wyłączeniem zasilacza Magnesu Głównego. Pomiar wykazał nieprawidłową pracę czujnika i pozwolił zdiagnozować usterkę bez ingerencji w układ chłodzenia. Wymiana czujnika nie mogła być wykonana bez rozszczelnienia układu chłodzenia, a także przestoju w pracy cyklotronu. W sytuacji uzasadnionej konieczności wymiany czujnika wykorzystano czas przerwy w działaniu urządzeń i dokonano naprawy. Kalibracja czujnika odbyła się na podstawie pomiarów temperatury z czujnika Pt-100 zainstalowanego tuż obok. Diagnoza okazała się słuszna, co potwierdziła bezawaryjna eksploatacja cyklotronu.

6. Bibliografia

- [1] <http://cel-procesu.pl/lean-manufacturing/diagram-ishikawy/>
- [2] http://pl.wikipedia.org/wiki/Diagram_Ishikawy
- [3] Instrukcja aplikacji IFJ_PAN
- [4] <http://www.clivet.com/en/sistemi-prodotti-clivet>
- [5] Altivar 61; Instrukcja programowania. Przemiennej częstotliwości do silników asynchronicznych
- [6] Daniel K., Cieślik R., Guguła K. i inni: Przystosowywanie cyklotronu AIC-144 do protonowej radioterapii oka. Część 6. Wpływ stabilności temperatury cyklotronu AIC-144 na stabilność natężenia wyprowadzanej wiązki protonów. Raport Nr 2047/AP. IFJ PAN, Kraków 2010
- [7] Metronic AKP. MPI-8 Ośmiokanałowy rejestrator elektroniczny. Instrukcja obsługi. 22 lipca 2010
- [8] J. Łańcucki, Podstawy kompleksowego zarządzania jakością TQM, Poznań 2003
- [9] J.J. Dahlgaard, K. Kristesen, K. Kanji, Przekład: L. Wasilewski, Podstawy zarządzania jakością, PWN, Warszawa 2001
- [10] http://jmf.wzr.pl/pim/2012_3_1_25.pdf
- [11] Grundfos data booklet, CR, CRI, CRN, CRE, CRIE, CRNE, Vertical multistage centrifugal pumps
- [12] Reflex, Ciśnieniowe naczynia przeponowe do instalacji grzewczych, chłodniczych, solarnych
- [13] RS; Instruction Leaflet; Flow sensors 257-133
- [14] ON Semiconductor; MC14528B, Dual Monostable Multivibrator
- [15] ITT Lowara, General Catalogue, FH Series

[16] Eksploatacja Cyklotronu AIC-144 przystosowanego do celów medycznych, Raport Nr 2065/AP, Kraków 2013

[17] Olko P.: Projekt Narodowego Centrum Radioterapii Hadronowej. Seminarium Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademia Górniczo Hutnicza, Kraków 29 luty 2008

[18] 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

[19] 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