

RAPORTY IChTJ. SERIA B nr 1/2021

**REKONSTRUKCJA UKŁADU TRANSPORTERA
W STACJI STERYLIZACJI RADIACYJNEJ
INSTYTUTU CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ**

Zbigniew Zimek, Sebastian Długoń, Karol Roman

Warszawa 2021

AUTORZY

Zbigniew Zimek, Sebastian Długoń, Karol Roman
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych

WYDAWCA

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej
ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa
tel. 22 811 06 56, fax: 22 811 15 32, e-mail: sekdyrn@ichtj.waw.pl
www.ichtj.waw.pl

Raport został wydany w postaci otrzymanej od Autorów

Rekonstrukcja układu transportera w Stacji Sterylizacji Radiacyjnej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej

Stacja Sterylizacji Radiacyjnej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej (IChTJ) powstała ze względu na rosnące zapotrzebowanie na sterylizację radiacyjną wyrobów medycznych jednorazowego użytku. Utworzono ją w 1993 r. i wyposażono w akcelerator typu Elektronika 10/10 (nominalna energia elektronów – 10 MeV, mocy średnia wiązki – do 10 kW). Ważne z punktu widzenia techniczno-ekonomicznego było i jest zapewnienie świadczenia usług sterylizacji radiacyjnej bez przerw wynikających z napraw akceleratora oraz pełne zabezpieczenie bieżącego zapotrzebowania na wyroby medyczne jednorazowego użytku produkowane w kraju. Czas pracy instalacji z wiązką przyśpieszonych elektronów w poszczególnych latach mieścił się w przedziale 2000-2500 h. Można przyjąć, że łączny czas pracy instalacji to ponad 60 000 h. Układ transportera po 28 latach ciągłej eksploatacji zaczął wykazywać szereg nieprawidłowości w działaniu, co groziło obniżeniem jakości procesu sterylizacji. Do najistotniejszych należała niestabilna prędkość transportera, czego bezpośrednią przyczyną była postępująca korozja i zanieczyszczenia elementów transportera, a tym samym znaczne zwiększenie oporów przesuwu taśmy nośnej. Dla podtrzymania stabilnej pracy układu transportera o regulowanej prędkości przeprowadzono jego rekonstrukcję obejmującą kluczowe części mechaniczne.

Wcześniej wymieniono sekcję przyśpieszającą oraz zastosowano magnetron nowej konstrukcji, co umożliwiło zwiększenie maksymalnej mocy średniej wiązki elektronów do 15 kW przy energii 10 MeV. Już na etapie projektowania budynku dla akceleratora Elektronika 10/10 dostrzeżono potrzebę zainstalowania drugiego akceleratora przeznaczonego do sterylizacji radiacyjnej. Zainstalowanie drugiego akceleratora zapewni większą wydajność instalacji oraz będzie miało istotne korzyści eksploatacyjne.

W trakcie długoletniej eksploatacji rozproszone promieniowanie jonizujące niekorzystnie oddziaływało na elementy elektryczne (silnik, tachometr, przewody łączące) rozmieszczone w pobliżu wyprowadzenia wiązki elektronów. Promieniowanie to jest bezpośrednią przyczyną degradacji elementów izolacyjnych, co w efekcie prowadzi do uszkodzeń mogących wyeliminować dane urządzenie z dalszej eksploatacji. Brak dostępnych na rynku części zamiennych (np. silników prądu stałego o określonych parametrach i gabarytach) oraz uszkodzenia radiacyjne elementów elektrycznych układu powodują, że konieczne jest wprowadzenie istotnych zmian konstrukcyjnych, np. zastąpienie silnika prądu stałego silnikiem prądu zmiennego. Tego typu zmiany wiążą się z odpowiednią modyfikacją układu sterowania regulacją prędkości transportera.

Ponadto należy rozważyć wprowadzenie dodatkowych zmian w celu optymalizacji wykorzystania wiązki elektronów. Straty wiązki w powietrzu i oknie wyjściowym akceleratora są do pominięcia przy energii elektronów 5-10 MeV w przypadku instalacji przeznaczonej do prowadzenia procesu obróbki radiacyjnej. Straty związane z systemem transportu wynikają bezpośrednio z geometrii wiązki i obiektu poddawanego obróbce. Straty ze względu na zasięg elektronów są dla odmiany związane z parametrami materiałów poddawanych obróbce radiacyjnej z wykorzystaniem systemu transportu zainstalowanego w Stacji Sterylizacji Radiacyjnej IChTJ. Ze względu na charakterystykę sterylizowanych wyrobów medycznych aktualnie przyjęto geometrię układu wyprowadzenia wiązki, dla której maksymalna użyteczna wysokość materiałów poddawanych obróbce radiacyjnej wynosi 20 cm. Proponowana zmiana polega na możliwości okresowego obniżenia poziomu transportera o regulowanej prędkości o 25 cm, co zwiększy wysokość użytkową do 45 cm. Czynność ta w warunkach eksploatacyjnych powinna być wykonana zdalnie w czasie nieprzekraczającym 10 min. Należy w związku z tym zainstalować podpory o regulowanej wysokości dla transportera o regulowanej prędkości, a także rozważyć modyfikację transporterów podającego i odbierającego pojemniki z wyrobami przeznaczonymi do sterylizacji radiacyjnej.

Reconstruction of the transporter system in the Radiation Sterilization Station of the Institute of Chemistry and Nuclear Technology

The Radiation Sterilization Station of the Institute of Nuclear Chemistry and Technology (INCT) was created due to the existing demand for radiation sterilization of single-use medical devices. The station was equipped with an Elektronika 10/10 accelerator (nominal electron energy – 10 MeV, average beam power – up to 10 kW), and commissioned in 1993. It should be noticed that the accelerating section was replaced at early stage of accelerator modernization. Also the new magnetron structure was applied which made possible to increase the maximum average electron beam power to 15 kW at electrons energy of 10 MeV.

The needs to provide radiation sterilization services without interruptions resulting from accelerator repairs, and full protection of the current demand for this type of products manufactured in the country was an important technical and economic element of facility exploitation. The operating time of the installation with the accelerated electron beam ranged from 2000 to 2500 h in individual years. It can be assumed that the total operating time of the installation is currently over 60,000 h, which may affect the quality of the sterilization process. The unstable speed of the transporter was found to be one of the most important faults. It is related to the progressive corrosion and contamination of the transporter elements, and thus the significant increase in the resistance of the carrier belt movement. To maintain the stable operation of the transporter system, its reconstruction was carried out, including the key mechanical parts of the speed-regulated transporter.

The need to install a second accelerator for radiation sterilization was noticed already at the stage of designing the building for the Elektronika 10/10 accelerator. This solution ensures greater installation efficiency and significant operational benefits. The main reason for commencing work on the construction of the LAE 10/15 accelerator was the need to maintain the safety of the continuity of operation of the Radiation Sterilization Station using the Russian linear electron accelerator and the related disruptions in the supply of spare parts.

Another unfavorable factor was the influence of ionizing radiation on the electrical components (engine, tachometer, connecting cables) located near the electron beam exit. The cause of the problems in this case is the degradation of the insulating elements, resulting in damage that may eliminate the device from further use. At the same time, the lack of spare parts available on the market (e.g. DC motors) as well as radiation damage to the electrical components of the system require significant changes to eliminate the instability of the transporter operation. The choice of a specific structure is determined by the need to replace a DC motor with an AC motor, which is related to the appropriate modification of the transporter speed regulation control.

Moreover, the additional changes related to the optimization of the use of the electron beam should be considered. The beam losses in the air and in the accelerator exit window are negligible at the electron energy in the range of 5-10 MeV, which is usually the case in an installation designed to carry out the irradiation process. The losses associated with the transporter system are directly related to the geometry of the beam and the treated object. On the other hand, the losses due to the range of electrons are only indirectly related to the transporter system in the Radiation Sterilization Station. Due to the characteristics of the sterilized medical devices, the current geometry of the beam exit system has been adopted, for which the maximum useful height of the materials subjected to radiation treatment is 20 cm. The proposed change consists in the possibility of periodically lowering the level of the speed-regulated transporter by 25 cm. Under operating conditions, this activity should be performed remotely within 10 min. The required changes are the installation of height-adjustable supports for the transporter. The necessity to modify the transporters delivering and receiving containers with products intended for radiation sterilization should be also considered.

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE	7
1.1. Stacja Sterylizacji Radiacyjnej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej	7
1.2. Układ transportu wykorzystywany w procesie sterylizacji radiacyjnej	11
2. REKONSTRUKCJA UKŁADU MECHANICZNEGO TRANSPORTERA	13
2.1. Założenia programu naprawczego	13
2.2. Elementy mechaniczne transportera	14
2.3. Układ mechaniczny transportera po rekonstrukcji	17
2.4. Parametry mechaniczne i ruchowe transportera	18
3. REKONSTRUKCJA UKŁADU NAPĘDU I STEROWANIA TRANSPORTERA	18
3.1. Założenia programu naprawczego	18
3.2. Elementy składowe układu napędu i sterowania	19
3.3. Schemat ideowy połączeń elektrycznych układu sterowania transporterem	21
3.4. Zamocowanie napędów	23
4. DODATKOWE MODYFIKACJE UKŁADU TRANSPORTERA	23
4.1. Optymalizacja położenia pojemnika w trakcie procesu sterylizacji radiacyjnej	23
4.2. Optymalizacja położenia taśmy nośnej transportera	25
5. PODSUMOWANIE	27
6. LITERATURA	27

1. WPROWADZENIE

1.1. Stacja Sterylizacji Radiacyjnej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej

Idea sterylizacji radiacyjnej została przedstawiona w pracy Marii Skłodowskiej-Curie opublikowanej w 1929 r., gdzie opisano analizę matematyczną bakteriobójczego działania promieniowania gamma radu. Po wielu latach stosowania sterylizacji radiacyjnej na skalę przemysłową okazuje się, że najlepiej spełnia ona oczekiwania stawiane procesom sterylizacji. Świadczy o tym stały wzrost pracujących na świecie instalacji radiacyjnych wykorzystywanych do prowadzenia tego procesu. Sterylizacja radiacyjna jest metodą stosowaną do wyjąławiania szerokiego asortymentu produktów medycznych, jak: strzykawki, igły, nici chirurgiczne, utensylia medyczne, materiały implantacyjne i tkanki, zestawy anestetyczologiczne i transplantacyjne, sprzęt do inhalacji i dializy, materiały opatrunkowe, ubrania chirurgiczne itp.

Efekty radiacyjnej degradacji patogenów mają charakter statystyczny. Skuteczność promieniowania jonizującego zależy od szeregu czynników, m.in. gęstości elektronowej materiału sterylizowanego, wielkości zastosowanej dawki promieniowania jonizującego, a także od zawartości wody w sterylizowanym materiale ze względu na indukowanie w takim środowisku aktywnych produktów chemicznych. Do tego dochodzą efekty biologiczne związane z oddziaływaniem promieniowania jonizującego, np. efekty uszkodzeń DNA i kluczowych elementów bakterii. Zjawiska te stanowią podstawę procesu sterylizacji radiacyjnej utensyliów medycznych jednorazowego użytku, a także implantów i przeszczepów. Istotną zaletą procesu jest możliwość prowadzenia sterylizacji w opakowaniu, po zastosowaniu technik konserwacyjnych przewidzianych dla danego rodzaju wyrobu czy przeszczepu.

Praktyczne działania w zakresie chemii i techniki radiacyjnej z wykorzystaniem akceleratorów rozpoczęto w Polsce z chwilą oddania w 1971 r. do eksploatacji w Instytucie Badań Jądrowych (obecnie Instytut Chemii i Techniki Jądrowej – IChTJ) akceleratora elektronów LAE 13/9 o energii 5-13 MeV i mocy wiązki 9 kW. Warto zaznaczyć, że w latach 1973-1977 akcelerator LAE 13/9 był wykorzystywany do badań odporności radiacyjnej materiałów polimerowych oraz badań mikrobiologicznych. Jednocześnie prowadzono intensywne prace mające na celu rozwój metod dozymetrycznych, a także zaangażowano się w promocję sterylizacji radiacyjnej w kraju. Pierwsze przemysłowe zastosowanie tej technologii w Polsce miało miejsce w 1974 r., rozpoczynając systematyczny wzrost ilościowy i asortymentowy. Od połowy 1975 r. IChTJ wykonuje na masową skalę radiacyjną sterylizację wyrobów medycznych jednorazowego użytku.

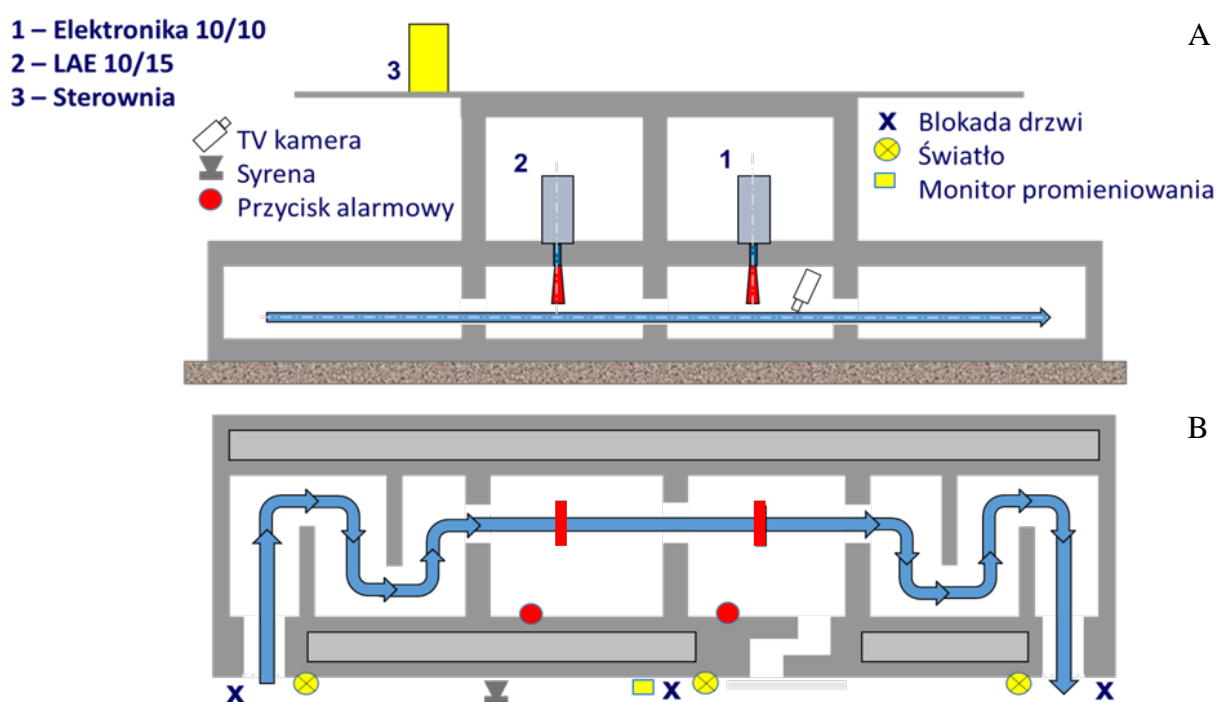
Tabela 1. Podstawowe parametry Stacji Sterylizacji Radiacyjnej IChTJ.

Akcelerator Elektronika 10/10	Budynek	Parametry procesu
Energia elektronów – 10 MeV	powierzchnia – 1814 m ²	szybkość transportera – 0,3-7 m/min
Moc wiązki – 15 kW	objętość – 9230 m ³	opakowanie jednostkowe – 56 × 45 × (10-30) cm; 0,05 m ³
Szerokość przemieszczania – 65 cm	powierzchnia magazynowa – 2 × 288 m ²	wydajność – 10 000 kg kGy/h
Zasilanie AC – 120 kVA		

Ze względu na rosnące zapotrzebowanie na tego typu usługi w 1993 r. uruchomiono w IChTJ Stację Sterylizacji Radiacyjnej wyposażoną w akcelerator Elektronika 10/10 (nominalna energia elektronów – 10 MeV, moc średnia wiązki – do 10 kW). W ramach późniejszej modernizacji wymieniono sekcję przyspieszającą oraz zastosowano nowy magnetron, co umożliwiło zwiększenie maksymalnej mocy średniej wiązki elektronów do 15 kW przy energii 10 MeV. Ważne z punktu widzenia techniczno-ekonomicznego było świadczenie usług bez przerw

wynikających z okresowych przeglądów i napraw akceleratora oraz pełne zabezpieczenie bieżącego zapotrzebowania na wyroby medyczne jednorazowego użytku produkowane w kraju. Walidacja procesu sterylizacji radiacyjnej wyrobów medycznych jednorazowego użytku, implantów i przeszczepów obejmuje kwalifikację instalacji oraz specyfikację i kwalifikację procesu. Stacja Sterylizacji Radiacyjnej jest przykładem instalacji z założenia przystosowanej do masowej obróbki radiacyjnej sprzętu medycznego jednorazowego użytku (tabela 1).

Budowa Stacji została sfinansowana z funduszy rządowych (zamówienie rządowe) oraz środków instytutowych. Wydajność Stacji sięga 50 mln szt. wyrobów medycznych sterylizowanych radiacyjnie rocznie, co w pełni zaspokaja bieżące zapotrzebowanie na tego typu wyroby produkowane w kraju. W ramach inwestycji wybudowano specjalny budynek przeznaczony dla potrzeb sterylizacji sprzętu medycznego i przeszczepów z uwzględnieniem norm światowych dotyczących rozdzielania powierzchni z towarem przed sterylizacją od powierzchni przeznaczonej na składowanie towaru po sterylizacji. Wybudowano pomieszczenia z osłonami przeznaczone docelowo do instalacji dwóch niezależnie pracujących akceleratorów z jednym wspólnym układem transportu materiałów poddawanych sterylizacji radiacyjnej (rys. 1).



Rys. 1. Fragment budynku Stacji Sterylizacji Radiacyjnej przedstawiający rozmieszczenie akceleratorów oraz układu transportu materiałów poddawanych sterylizacji (rzut z boku – A i z góry – B).

Ogromne znaczenie praktyczne ma sterylizacja przeszczepów chirurgicznych przy wykorzystaniu promieniowania jonizującego. Rozwój chirurgii odtwórczo-naprawczej przyczynia się do wzrostu zapotrzebowania na przeszczepy tkankowe: kości, chrząstki, opony twardej, ścięgien, twardówki, rogówki, zastawek serca, skóry i owodni. W ostatnim okresie rozwijają się badania i sterylizacja radiacyjna materiałów opakowaniowych. Napromienianie wiązką elektronów pustych opakowań (kartonów, pudełek, butelek) bywa coraz częściej osobnym zabiegiem w cyklu produkcyjnym wyrobów przeznaczonych do zastosowań medycznych. Coraz powszechniej obróbce radiacyjnej poddawane są farmaceutyki. Na rys. 2 przedstawiono pomieszczenie wyprowadzenia przyspieszonej wiązki elektronów i pomieszczenie do składowania wyrobów medycznych jednorazowego użytku w opakowaniach zbiorczych.

Już na etapie projektowania budynku dla akceleratora Elektronika 10/10 produkcji rosyjskiej dostrzeżono potrzebę zainstalowania drugiego akceleratora przeznaczonego do sterylizacji radiacyjnej. Rozwiązanie takie zwiększyłoby wydajność instalacji oraz dało korzyści eksploatacyjne. Jednak główną przyczyną podjęcia prac nad budową akceleratora LAE 10/15

A



B



Rys. 2. Stacja Sterylizacji Radiacyjnej IChTJ: A – pomieszczenie wyprowadzenia przyśpieszonej wiązki elektronów, B – pomieszczenie do składowania wyrobów medycznych jednorazowego użytku w opakowaniach zbiorczych.

była potrzeba zachowania bezpieczeństwa ciągłości pracy Stacji Sterylizacji Radiacyjnej. Brak możliwości regularnego zaopatrywania się w części zamienne produkcji rosyjskiej stwarza bowiem poważne problemy w utrzymaniu ciągłości pracy akceleratora Elektronika 10/10.

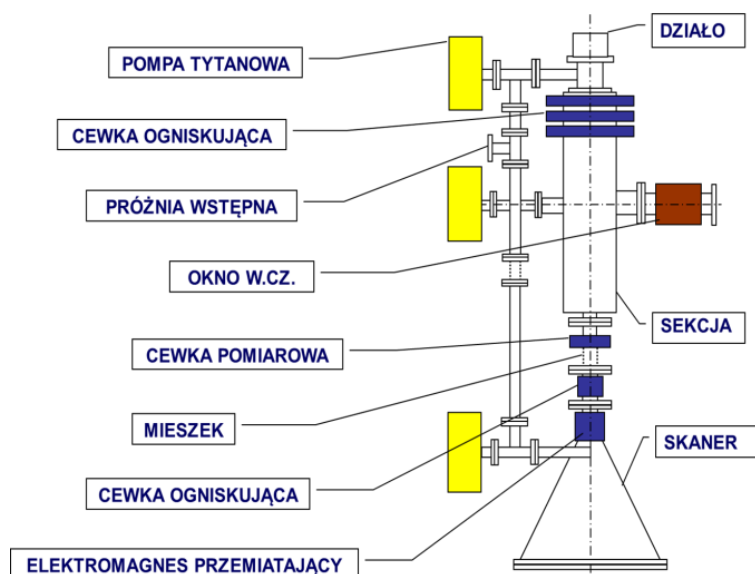
Budowa akceleratora LAE 10/15 została sfinansowana przez Państwową Agencję Atomistyki (PAA), Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA) oraz IChTJ. Akcelerator LAE 10/15 jest wyposażony w sekcję przyśpieszającą z falą stojącą. Schemat blokowy tego urządzenia przedstawiono na rys. 3A, natomiast schemat blokowy układu sterowania akceleratora na bazie układu mikroprocesora – na rys. 3B. Wiązka elektronów emitowana przez katodę działa elektronowego jest przyśpieszana do energii 10 MeV w sekcji przyśpieszającej. Średnica wiązki na wyjściu sekcji jest rzędu 2 mm. Dla uformowania liniowo przemieszczanej wiązki elektronów zastosowano elektromagnes zasilany piłokształtnym przebiegiem prądowym o częstotliwości w zakresie 1-10 Hz (zasilacz prądowy). Na rys. 4 pokazano elementy akceleratora LAE 10/15 – sekcję przyśpieszającą z wyposażeniem i układ wyprowadzenia wiązki.

Konstrukcja akceleratora LAE 10/15 przewiduje zastosowanie klistronu typu TH-2158 o gwarantowanym czasie pracy 4000 h jako źródła energii mikrofalowej wykorzystywanej w akceleratorze w procesie przyśpieszania elektronów. Faktyczny czas eksploatacji tego urządzenia dochodzi do 10 000 h. Zastosowanie klistronu jako źródła energii mikrofalowej pozwoli uzyskać stabilne warunki prowadzenia procesu sterylizacji i kilkukrotnie wydłużyć okres eksploatacji źródła energii wielkiej częstotliwości, a w konsekwencji obniżyć koszty eksploatacyjne instalacji. Akcelerator LAE 10/15 po osiągnięciu nominalnych parametrów wiązki elektronów (energia – 10 MeV, moc wiązki – 10-15 kW) zapewni żadaną jakość obróbki radiacyjnej oraz bezawaryjność eksploatacji na poziomie niezbędnym do wykonywania usług dla potrzeb służby zdrowia.

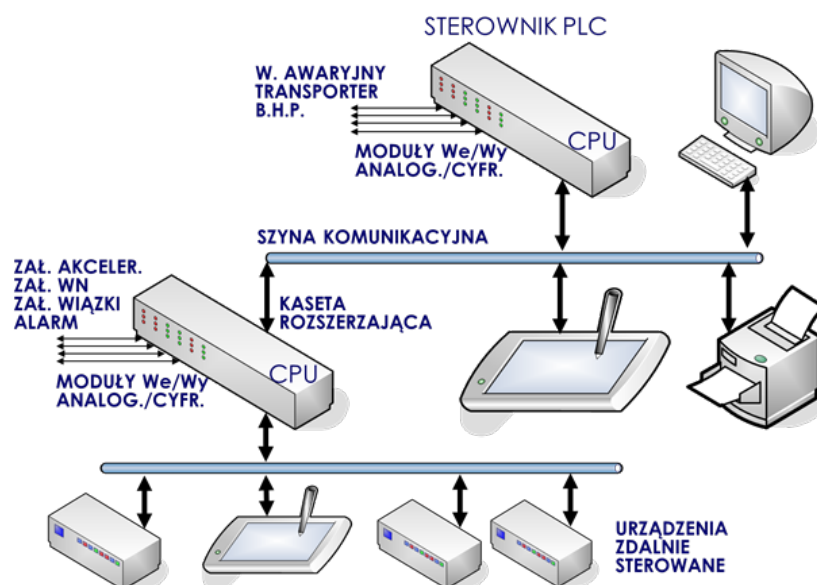
W akceleratorze LAE 10/15 zastosowano mikroprocesorowy układ sterowania, sygnalizacji i blokad z modułami rozszerzeń firmy Siemens z serii Simatic S7-300 (rys. 3B). System wykorzystuje magistralę komunikacyjną z protokołem Profibus. Simatic S7-300 jest to uniwersalna platforma systemu automatyki, która umożliwia budowę zarówno autonomicznych, jak i rozproszonych układów sterowania wykorzystujących sieci komunikacyjne. Sterowniki S7-300 programowane są za pomocą pakietu STEP7, zgodnego z normą IEC61131-3. Pakiet umożliwia automatyczne tworzenie dokumentacji programu oraz łatwą eksploatację i obsługę serwisową sterowników. Sieć przemysłowa Profibus jest przeznaczona do komunikacji pomiędzy sterownikami i urządzeniami wejścia/wyjścia. Do układu sterowania dołączono za pomocą magistrali Profibus stację ET 200S. Składa się ona z dziesięciu modułów 1SI, do których są

podłączone urządzenia wyposażone w interfejs RS232 (np. zasilacze ogniskowania cewek, zasilacz przemiatacia, generator mikrofalowy). Do komunikacji między operatorem a mikroprocesorowym układem kontroli, sterowania i blokad służą dwa pracujące równolegle panele dotykowe.

A



B

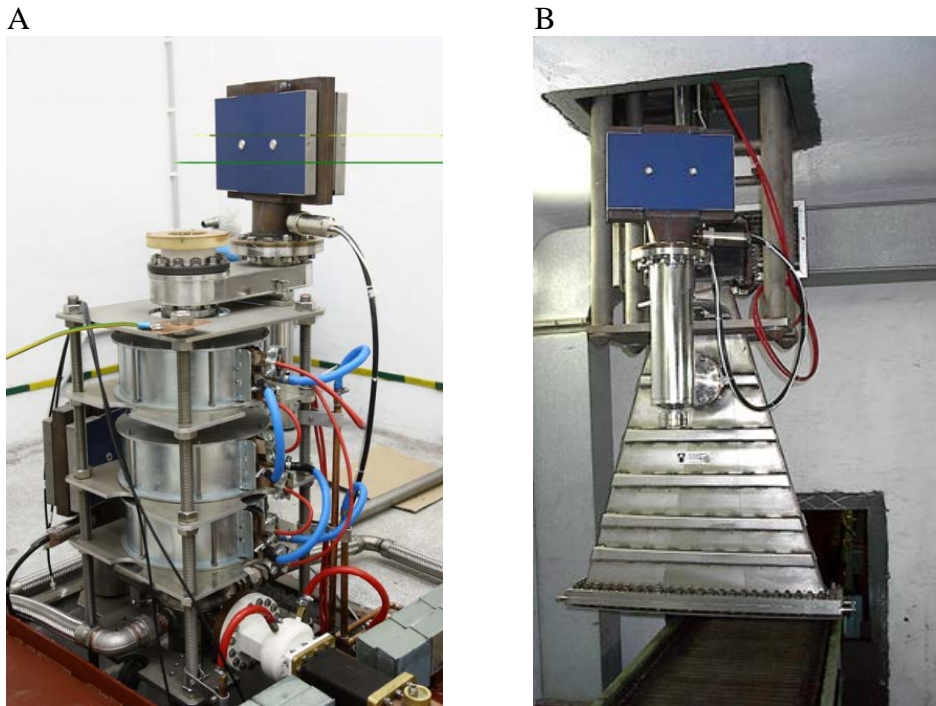


Rys. 3. Podstawowe podzespoły akceleratora LAE 10/15: A – konfiguracja układu przyśpieszania elektronów z działem elektronowym, sekcją przyśpieszającą i układem wyprowadzenia wiązki; B – schemat blokowy układu sterowania na bazie mikroprocesora i elementów pomocniczych firmy Siemens.

Opracowanie i uruchomienie oprogramowania mikroprocesora wraz z elementami pośredniczącymi i blokami sterowania poszczególnych urządzeń wchodzących w skład liniowego akceleratora elektronów pozwala na eksploatację akceleratora w reżymie sterowania ręcznego oraz w układzie pracy automatycznej.

Sterowanie ręczne obejmuje:

- sterowanie elementami kontrolnymi i wykonawczymi:
 - operacje typu załącz/wyłącz,
 - sterowanie analogowe – odczyt i zadawanie wartości,



Rys. 4. Widok elementów akceleratora LAE 10/15: A – sekcja przyspieszająca z wyposażeniem, B – układ wyprowadzenia wiązki.

- sterowanie cyfrowe – odczyt i zadawanie wartości, wysyłanie i odbiór poleceń do/z urządzeń;
- obsługę alarmów i zabezpieczeń:
 - wprowadzanie blokad zabezpieczających pracę urządzeń,
 - obsługę alarmów – wyświetlanie komunikatów w zależności od występującego błędu, ostrzeżenie operatora sygnałem dźwiękowym,
 - rejestr alarmów – rejestracja alarmów w pamięci oraz wyświetlanie listy alarmów z datą, czasem i informacją o błędzie.

Praca automatyczna obejmuje:

- automatyczne prowadzenie procesu:
 - programator procesu – wprowadzanie parametrów procesu,
 - sterowanie przebiegiem procesu,
 - ostrzeżenie o stanach awaryjnych,
 - wprowadzanie procedur awaryjnych (czynności zabezpieczających);
- rozszerzenie programatora o możliwość zapisu bloków opisujących parametry procesu:
 - wczytywanie procesów,
 - zapis procesów,
 - edycję procesów.

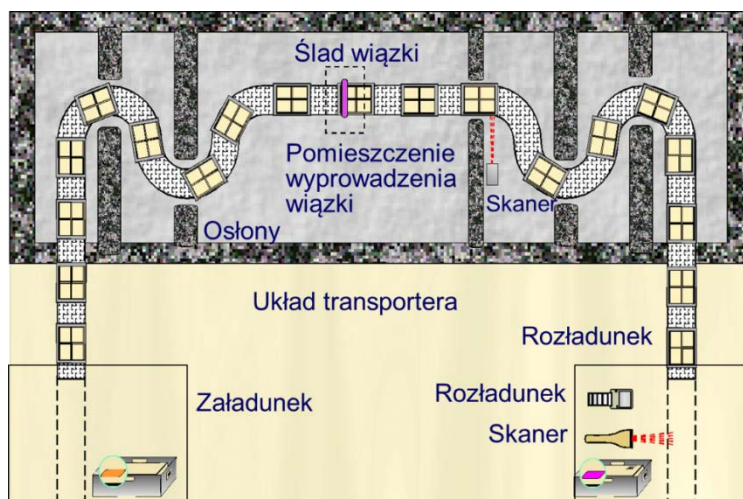
Dodatkowe opcje to:

- zapis przebiegu czasowego wielkości procesowych do plików;
- karta procesu:
 - wyliczanie uśrednionych/skrajnych wielkości procesowych,
 - możliwość wglądu w kartę procesu z panelu operatora,
 - zapis karty procesu do pliku z możliwością odczytu z panelu operatorskiego.

1.2. Układ transportu wykorzystywany w procesie sterylizacji radiacyjnej

Wyposażona w akcelerator elektronów Elektronika 10/10 Stacja Sterylizacji Radiacyjnej IChTJ pracuje bez przerwy od 1993 r. Czas pracy instalacji z wiązką w poszczególnych latach

mieści się w przedziale 2000-2500 h. Można przyjąć, że łączny czas pracy instalacji wynosił ponad 60 000 h. Na rys. 5 przedstawiono schemat układu transportera umożliwiającego podawanie pojemników przeznaczonych do sterylizacji w miarę potrzeb określonych technologią procesu sterylizacji, przesuwanie pojemników pod wyprowadzeniem wiązki elektronów z kontrolowaną prędkością (0,3-7 m/min) określoną parametrami akceleratora i wymaganą wielkością dawki promieniowania jonizującego oraz odbiór pojemników przesuwających się ze stałą prędkością 10 m/min po przejściu przez nie odcinka z kontrolowaną prędkością.



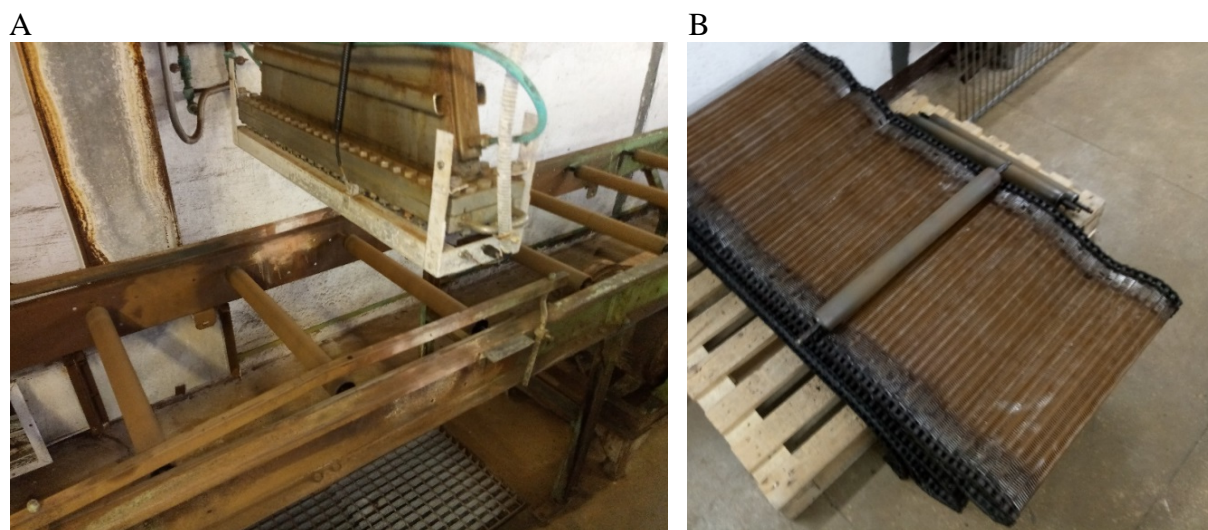
Rys. 5. Schemat układu transportera współpracującego z jednym akceleratorem, umożliwiającego: podawanie, obróbkę radiacyjną i odbiór pojemników poddawanych sterylizacji radiacyjnej.

Transporter o regulowanej prędkości znajduje się pod wyprowadzeniem przemiatanej wiązki elektronów i jest napędzany silnikiem prądu stałego za pośrednictwem przekładni mechanicznej. Układ podtrzymywania prędkości jest oparty na prądniczy tachometrycznej zamontowanej na wale silnika elektrycznego. Ponadto istnieje dodatkowy niezależny pomiar prędkości za pomocą tarczy próbującej prędkość transportera, sprzężonej mechanicznie z taśmą, na której znajdują się pojemniki poddawane obróbce radiacyjnej. Obroty silnika, a tym samym prędkość liniowa taśmy, są regulowane zgodnie z wymaganiami procesu.

Ze względu na niestabilność układu regulacji liniowej prędkości transportera w 1998 r. zmodernizowano układ sterowania, a w 2010 r. zweryfikowano. Zamiast istniejącego bloku analogowego sterowania prędkością transportera wprowadzono układ wyposażony w komputer i bloki interfejsowe typu „Adam” do zbierania informacji analogowych i cyfrowych. Na podstawie współczynnika kalibracji określonego w trakcie wstępnych pomiarów oraz pomiarów energii elektronów, prądu w elektromagnesie przemiatania i prądu wiązki, a także zadanej wielkości dawki układ wyznacza odpowiednią prędkość transportera, przy czym parametr ten jest średnią wartością pięciu kolejnych pomiarów. W kolejnym etapie obliczana jest wartość napięcia sterującego pracą transportera.

Proces sterylizacji musi być prowadzony na urządzeniu pozwalającym na ciągłą kontrolę i rejestrację wszystkich parametrów procesu. Istotne jest by akcelerator jako źródło promieniowania pracujące dla potrzeb sterylizacji radiacyjnej miał atestację, a sam proces sterylizacji – walidację przeprowadzoną zgodnie z normą ISO 11137. Wymagają tego użytkownicy korzystający ze sterylizacji radiacyjnej na skalę przemysłową, których liczba w skali roku przekracza 50. Usługi świadczone przez Stację Sterylizacji Radiacyjnej IChTJ muszą spełniać wszystkie regulacje prawne dotyczące zachowania standardów bezpieczeństwa i zapewnienia jakości (uzyskano certyfikaty ISO i GMP). Wiele lat pracy w atmosferze zawierającej ozon, tlenki azotu i tworzące się w połączeniu z parą wodną roztwory kwasu, które pokrywają elementy zainstalowane w pomieszczeniu wyprowadzenia wiązki, prowadzi do korozji i uszkodzeń zarówno elementów elektrycznych (silniki napędowe), jak i mechanicznych (rys. 6). Korozja elementów mechanicznych transportera, brak części zamiennych silnika prądu stałego i przewidywane

uruchomienie akceleratora LAE 10/15 wymusiło dalszą modernizację układu transportera w Stacji Sterylizacji Radiacyjnej.



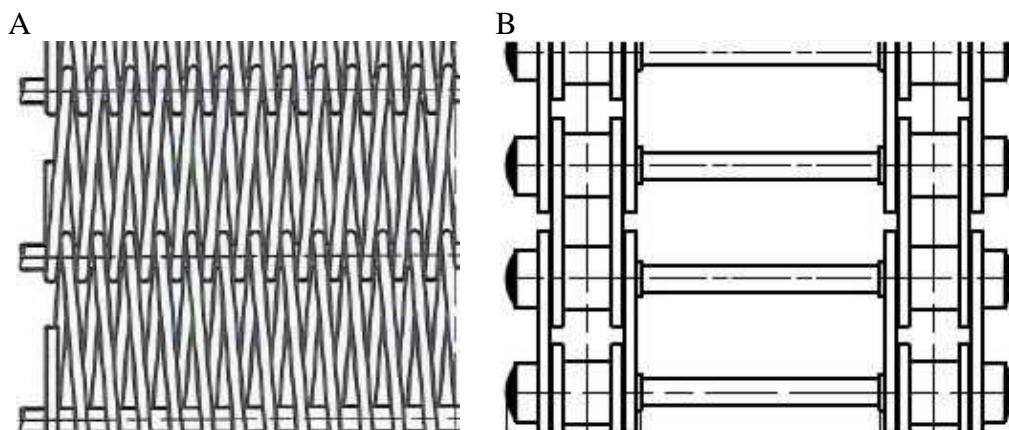
Rys. 6. Widok fragmentu akceleratora i transportera bezpośrednio pod wyprowadzeniem wiązki elektronów (A) oraz zdemontowana taśma transportująca pojemniki pod wiązką (B).

2. REKONSTRUKCJA UKŁADU MECHANICZNEGO TRANSPORTERA

2.1. Założenia programu naprawczego

Układ transportera po 28 latach ciągłej eksploatacji zaczął wykazywać szereg nieprawidłowości w działaniu, co groziło obniżeniem jakości procesu sterylizacji. Do najistotniejszych należała niestabilna prędkość transportera. Bezpośrednią przyczyną była postępująca korozja i zanieczyszczenie elementów transportera, które spowodowały znaczne zwiększenie oporów przesuwu taśmy nośnej. Kolejnym niekorzystnym czynnikiem było oddziaływanie promieniowania jonizującego na elementy elektryczne (silnik, tachometr, przewody łączące) rozmieszczone w pobliżu wyprowadzenia wiązki elektronów, co przyczyniło się do degradacji elementów izolacyjnych i w efekcie uszkodzeń mogących wyeliminować urządzenie z dalszej eksploatacji. Brak części zamiennych wymuszałby przy każdej naprawie rekonstrukcję układu ze względu na inne gabaryty obecnie dostępnych elementów. Dodatkowym powodem rekonstrukcji układu transportera była możliwość wprowadzenia do eksploatacji drugiego akceleratora i równoległej pracy obu akceleratorów lub tylko jednego z nich, co wymaga odpowiedniej modyfikacji układu sterowania transportera.

W celu wyeliminowania niestabilności pracy układu transportera zdecydowano o rekonstrukcji obejmującej zarówno jego kluczowe części mechaniczne, jak i elektryczne. Na wybór określonej konstrukcji taśmy nośnej transportera miało wpływ zastosowanie silnika prądu zmiennego zamiast silnika prądu stałego, a z tym wiązała się odpowiednia modyfikacja sterowania regulacją prędkości transportera. Kluczowa decyzja dotyczyła wyboru konstrukcji taśmy nośnej transportera. Na rys. 7 przedstawiono dwie wcześniej stosowane podstawowe konstrukcje: z siatką (A) i z prętów ze stali nierdzewnej (B). Biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenia, warunki eksploatacji (obróbka radiacyjna z wykorzystaniem pojemników) i ceny, zdecydowano się na konstrukcję z prętów ze stali nierdzewnej. Rozwiązanie to zapewnia zdecydowanie mniejsze siły oporu ruchu dzięki zredukowaniu masy całej taśmy, co niewątpliwie ułatwia utrzymanie stabilnej pracy całego układu transportera. Łatwiejsza jest też konserwacja taśmy nośnej transportera.



Rys. 7. Podstawowe konstrukcje taśmy nośnej transportera: A – taśma siatkowa, B – struktura nośna z prętów ze stali nierdzewnej.

2.2. Elementy mechaniczne transportera

W celu oceny kosztu wykonania transportera o zadanej konstrukcji rozważono także możliwość zastosowania siatkowej taśmy nośnej o następujących parametrach:

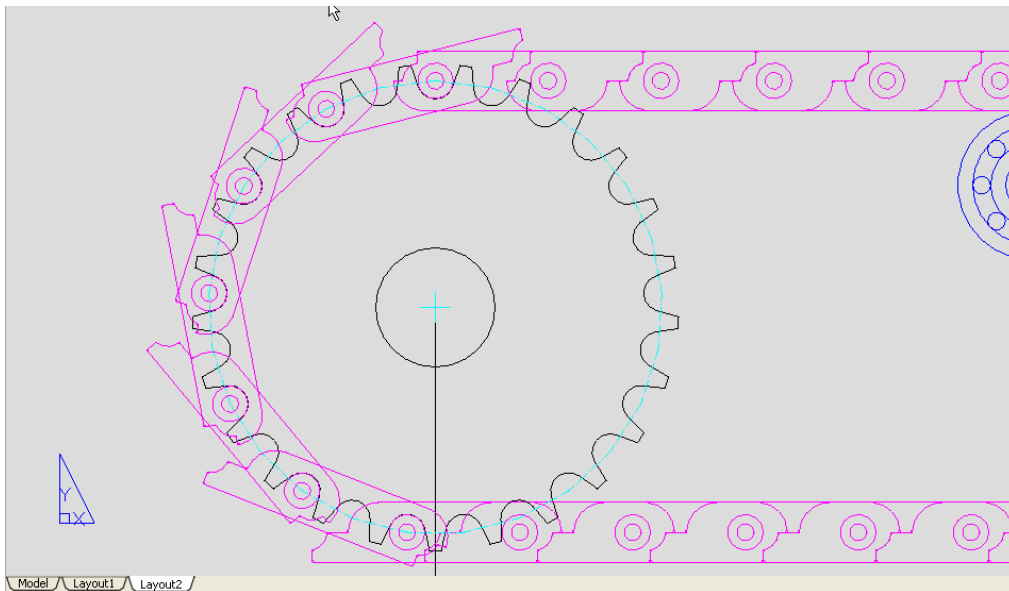
- podziałka łańcucha $\frac{3}{4}$ cala – 19,05 mm,
- średnica drutu siatki – ϕ 1,6 mm,
- średnica prętów poprzecznych – ϕ 5,0 mm,
- szerokość w osi łańcucha – 580 mm,
- materiał – stal AISI 304,
- długość całkowita – 18 m (bez zapasu).

Swoje oferty przedstawiły firmy STEMET i TEXTILCO:

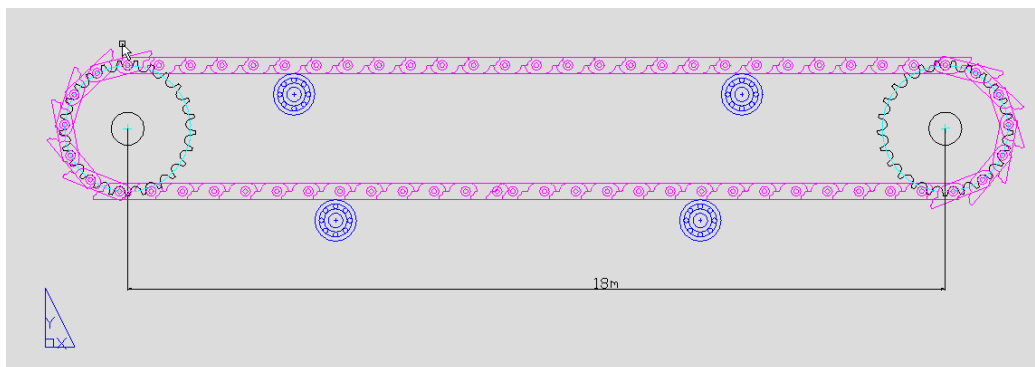
- Oferta firmy STEMET
 - taśma oryginalna: $18 \text{ m} \times 895 \text{ zł/mb} = 16.110 \text{ zł}$ (netto),
 - taśma oryginalna z tulejkami dystansowymi po obu końcach siatki zabezpieczającymi przed wnikaniem smaru w splot siatki: $18 \text{ m} \times 997 \text{ zł/mb} = 17.946 \text{ zł}$ (netto),
 - taśma łańcuch z prętami poprzecznymi bez siatki: $18 \text{ m} \times 727 \text{ zł/mb} = 13.086 \text{ zł}$ (netto).
- Oferta firmy TEXTILCO
 - taśma oryginalna: $18 \text{ m} \times 1.010,78 \text{ zł/mb} = 18.194,04 \text{ zł}$ (netto),
 - taśma łańcuch z prętami poprzecznymi bez siatki: $18 \text{ m} \times 594,78 \text{ zł/mb} = 10.706,04 \text{ zł}$ (netto).

Poprzednio stosowana taśma z siatki miała wiele mankamentów, które wynikały nie tylko ze zużycia, ale też z samej budowy taśmy. Taśma była bardzo ciężka, a naciąg znacznie obciążał krańcowe łożyska wałków na obu końcach transportera. Mimo dużych sił napinających łańcuch, zwisy pomiędzy rołkami umieszczonymi w odstępach 35 cm powodowały nierównomierną pracę transportera. Enkoder układu automatycznej regulacji prędkości przesuwu był umieszczony na przeciwnym końcu transportera w odległości 9 m od rolki napędowej, co także przyczyniało się do nieprawidłowej pracy. W procesie sterylizacji radiacyjnej prowadzonym w Stacji IChTJ wykorzystuje się pojemniki aluminiowe, w których umieszczane są opakowania zbiorcze sprzętu medycznego jednorazowego użytku. W związku z tym konstrukcja taśmy transportowej nie wymaga plecionki, która ma zastosowanie w przypadku materiałów sypkich i luźno transportowanych. Wymagania spełnia konstrukcja wykonana z prętów poprzecznych spiętych po obu stronach szeregiem ogniów. W przypadku konstrukcji z siatką należy zadbać o wyeliminowanie zwisów, z uwagi na ich wpływ na zwiększenie nierównomierności przesuwu taśmy.

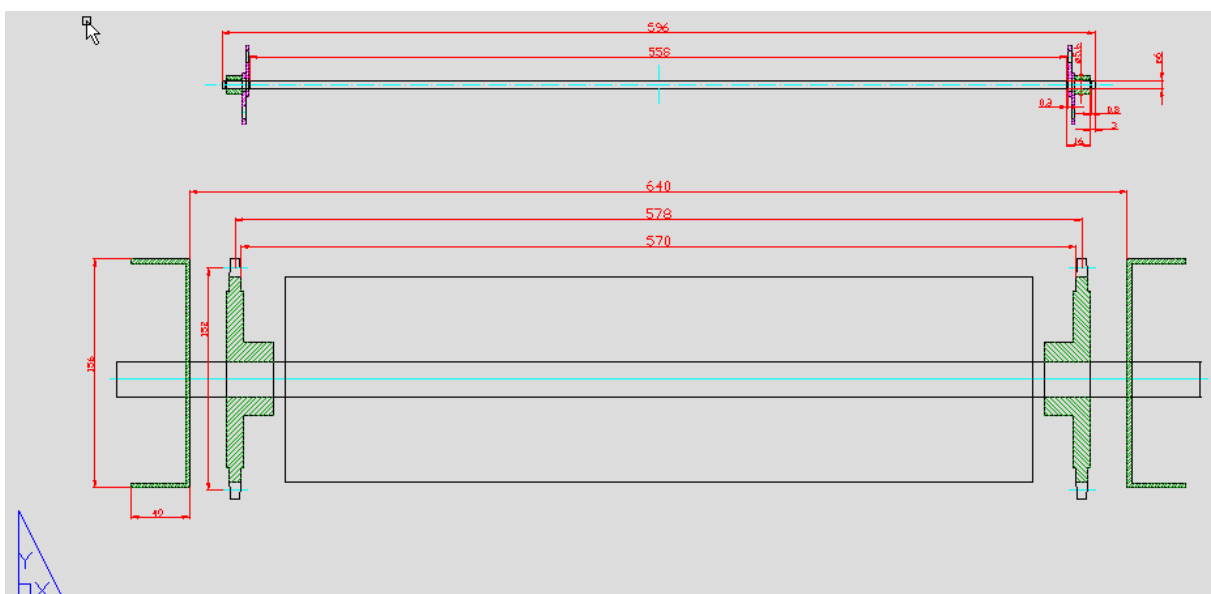
Uwzględniając to wszystko, opracowano własny projekt przydatny do zastosowania w specyficznych warunkach procesu sterylizacji. Wykorzystano w nim dwa szeregi ogniów o kształcie pozwalającym na wzajemne blokowanie w pozycji poziomej i poprzecznie łączących je prętów



Rys. 8. Widok fragmentu transportera z kołem zębatym (25 zębów) oraz ogniwi o kształcie pozwalającym na wzajemne blokowanie w pozycji poziomej i poprzecznie łączących je prętów.



Rys. 9. Widok z boku transportera prętowego wyposażonego w ogniwa o kształcie pozwalającym na wzajemne blokowanie w pozycji poziomej i poprzecznie łączących je prętów.



Rys. 10. Wymiary prętów i rozmieszczenie kół zębatych przenoszący napęd na taśmę transportera prętowego.

o średnicy ϕ 6 mm (rys. 8-10). Ponieważ na taśmie przenoszone są skrzynki o ciężarze nieprzekraczającym 6 kg, jednostkowa nośność prętów pozwoliła na dodatkowe zmniejszenie wagi taśmy do 5 kg/mb (ciężar 18 m taśmy wynosi 90 kg) poprzez dwukrotne zredukowanie liczby prętów poprzecznych. Po takim zabiegu podziałka łańcucha wzrosła z 19,05 mm do 37,8 mm, a współpraca z kołami zębatymi (Z25) odbywa się co drugi ząb.

Ustalono, że parametry taśmy powinny być następujące:

- podziałka łańcucha – 37,8 mm (dwukrotna),
- średnica prętów poprzecznych – ϕ 6,0 mm,
- szerokość w osi łańcucha – 580,0 mm,
- materiał – Stal AISI 316 (kwasoodporna),
- długość całkowita – 18 m (bez zapasu).

Wykonania takiej taśmy podjął się Instytut Maszyn Spożywczych Sp. z o.o. w Warszawie, mający wieloletnie doświadczenie w budowie maszyn i urządzeń ze stali nierdzewnej, za cenę 14.994 zł netto (18 m \times 833 zł/mb).



Rys. 11. Struktura nośna transportera z prętów ze stali nierdzewnej.

Na rys. 11 przedstawiono widok wykonanej z prętów ze stali nierdzewnej taśmy nośnej transportera, a na rys. 12 – fragment transportera ze strukturą wsporczą (ceowniki korpusu i rolki prowadzące), prętami nośnymi spiętymi ogniwami o kształcie pozwalającym na wzajemne blokowanie w pozycji poziomej i tulejkami współpracującymi z kołami zębatymi.



Rys. 12. Widok transportera zainstalowanego pod wylotem wiązki elektronów (A) oraz fragmentu transportera z widoczną strukturą wsporczą (ceowniki korpusu i rolki prowadzące), prętami nośnymi spiętymi ogniwami o kształcie pozwalającym na wzajemne blokowanie w pozycji poziomej i tulejkami współpracującymi z kołami zębatymi.

2.3. Układ mechaniczny transportera po rekonstrukcji

Na rys. 13 przedstawiono stan części transportera tuż pod wiązką po przeprowadzonej rekonstrukcji. Widoczne na zdjęciach jasne elementy to profile wykonane ze stali nierdzewnej wstawione na miejsce skorodowanych i zdegradowanych upływem czasu części korpusu transportera.



Rys. 13. Widok elementów mechanicznych transportera po rekonstrukcji.

Charakterystyczne brązowe przebarwienie widoczne na powierzchni ceownika (rys. 14) jest wynikiem oddziaływania wiązki elektronów wyprowadzanej na zewnątrz akceleratora za pośrednictwem skanera służącego do przemiatania wiązki. Na rys. 15 pokazano dodatkowe osłony chroniące ceowniki przed wiązką przyspieszonych elektronów.



Rys. 14. Charakterystyczne brązowe przebarwienie widoczne na powierzchni wsporcze go ceownika konstrukcji nośnej transportera.



Rys. 15. Widok dodatkowych osłon chroniących ceowniki przed wiązką promieniowania.

2.4. Parametry mechaniczne i ruchowe transportera

Podstawowe parametry mechaniczne i ruchowe transportera w Stacji Sterylizacji Radiacyjnej po przeprowadzonej modernizacji są następujące:

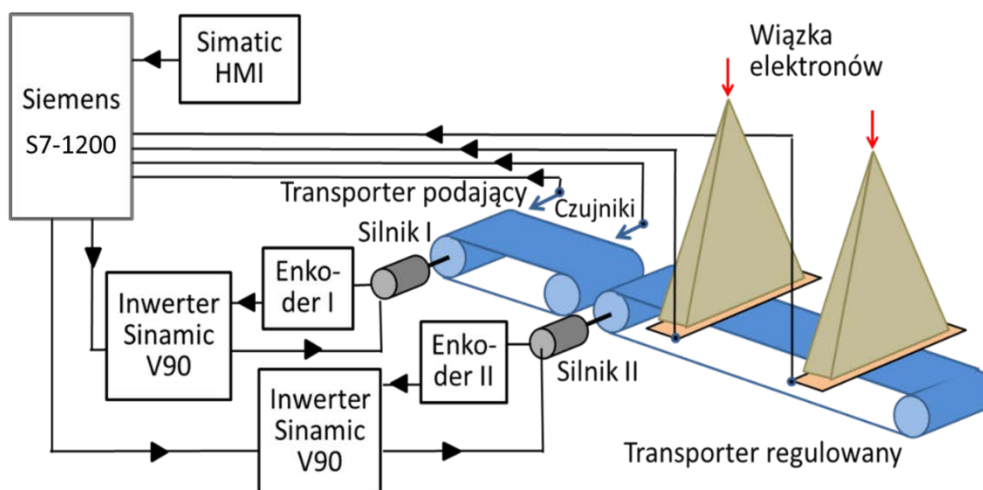
- parametry mechaniczne:
 - ciężar jednostkowy taśmy – 5 kg/mb,
 - ciężar całkowity 18 mb taśmy – 90 kg,
 - prześwit pod tubusem – 45 cm,
 - efektywna szerokość taśmy – 55 cm;
- parametry ruchowe: zakres prędkość przesuwu taśmy transportera – 0-8 m/min.
Po zainstalowaniu transporter poddano przez roku intensywnej eksploatacji w trakcie prowadzonego procesu sterylizacji radiacyjnej i spełnił on wszystkie wymagania technologiczne.

3. REKONSTRUKCJA UKŁADU NAPĘDU I STEROWANIA TRANSPORTERA

3.1. Założenia programu naprawczego

Jakość pracy układu napędu i sterowania transportera zależy od niezawodności elementów elektrycznych i elektronicznych w okresie długiej eksploatacji. Na niezawodność elementów elektrycznych i izolacji przewodów zainstalowanych w pomieszczeniu wyprowadzenia wiązki elektronów wpływa niekorzystnie rozproszone promieniowanie jonizujące. Warunkiem zwiększenia niezawodności pracy instalacji jest wykorzystywanie w procesie sterylizacji radiacyjnej dwóch niezależnych źródeł promieniowania jonizującego w postaci akceleratorów przyspieszających wiązkę elektronów. Do podstawowych funkcji układu napędu i sterowania transporterem w takim zestawie technologicznym należą:

- możliwość płynnego sterowania prędkością transportera zainstalowanego pod wyprowadzeniem wiązki elektronów w celu uzyskania określonej dawki promieniowania,
- możliwość stabilizacji (korekty) prędkości transportera dla podtrzymania założonej dawki,
- możliwość korekty prędkości w zależności od aktualnej wartości prądu wiązki wytworzonej przez jeden lub dwa akceleratory,
- możliwość cyklicznej pracy transportera podającego w celu zapewnienia optymalnego wypełnienia transportera o regulowanej prędkości,
- praca transportera z wybranym akceleratorem,
- praca transportera z dwoma akceleratorami.



Rys. 16. Schemat blokowy układu transportera przeznaczonego do prowadzenia procesu sterylizacji radiacyjnej, wyposażonego w zespoły napędowe sterowane falownikiem za pośrednictwem mikroprocesora.

Na rys. 16 przedstawiono schemat blokowy układu transportera przeznaczonego do prowadzenia procesu sterylizacji radiacyjnej, wyposażonego w zespoły napędowe z silnikami prądu zmiennego sterowane falownikiem za pośrednictwem mikroprocesora.

3.2. Elementy składowe układu napędu i sterowania

W celu realizacji założonych funkcji transportera wykorzystywanego w procesie sterylizacji wybrano podzespoły firmy Siemens. Główne elementy systemu napędu stanowią dwa komplety dla transporterów podającego i regulowanego składające się z silnika 1FL6061-1AC61-2AA1 (rys. 17) i falownika 6SL3210-5FE11-0UF0.

Układ sterowania składa się ze sterownika PLC SIMATIC S7-1200 firmy Siemens i panelu dotykowego HMI KTP700 BASIC.



Rys. 17. Silnik firmy Siemens 1FL6061-1AC61-2AA1.

Podstawowe parametry zastosowanego silnika są następujące:

- znamionowe obroty (n) – 2000 rpm (max. 3000 rpm),
- znamionowy moment (M_n) – 3,58 Nm (max. 10,7 Nm),
- znamionowy prąd (I_n) – 2,5 A (max. 7,5 A),
- znamionowa moc (P_n) – 0,75 kW,
- znamionowe napięcie (U_n) – 205 V,
- ciężar (m) – 5,7 kg,



Rys. 18. Falownik Sinamics 6SL3210-5FE11-0UF0.



Rys. 19. Panel dotykowy HMI.

- eksploatacja w temperaturze – 0-40°C,
- enkoder inkrementalny – 2500 imp./obr.,
- chłodzenie – swobodne (naturalne).

Na rys. 18 pokazano falownik Siemens Sinamics 6SL3210-5FE11-0UF0 charakteryzujący się następującymi parametrami:

- napięcie wejściowe – 380-480 V AC, 3 A, 45-66 Hz;
- napięcie wyjściowe – 0-480 V AC, 3 A, 0-330 Hz;
- komunikacja za pośrednictwem magistrali ProfiNet (PN).

Na rys. 19 zaprezentowano panel dotykowy HMI, który po wgraniu odpowiedniego programu steruje pracą podzespołów napędowych na podstawie odczytów z czujników i poleceń operatora dotyczących parametrów i harmonogramu pracy transportera. Panel HMI jest zasilany napięciem 24 V DC, a komunikacja odbywa się za pośrednictwem magistrali ProfiNet (PN).

Jako układ mikroprocesora odpowiedzialnego za proces regulacji szybkości transportera wykorzystywana będzie jednostka Simatic S7-300, przy czym za pracę silników odpowiadać będzie sterownik mikroprocesorowy S7-1200 (rys. 20).



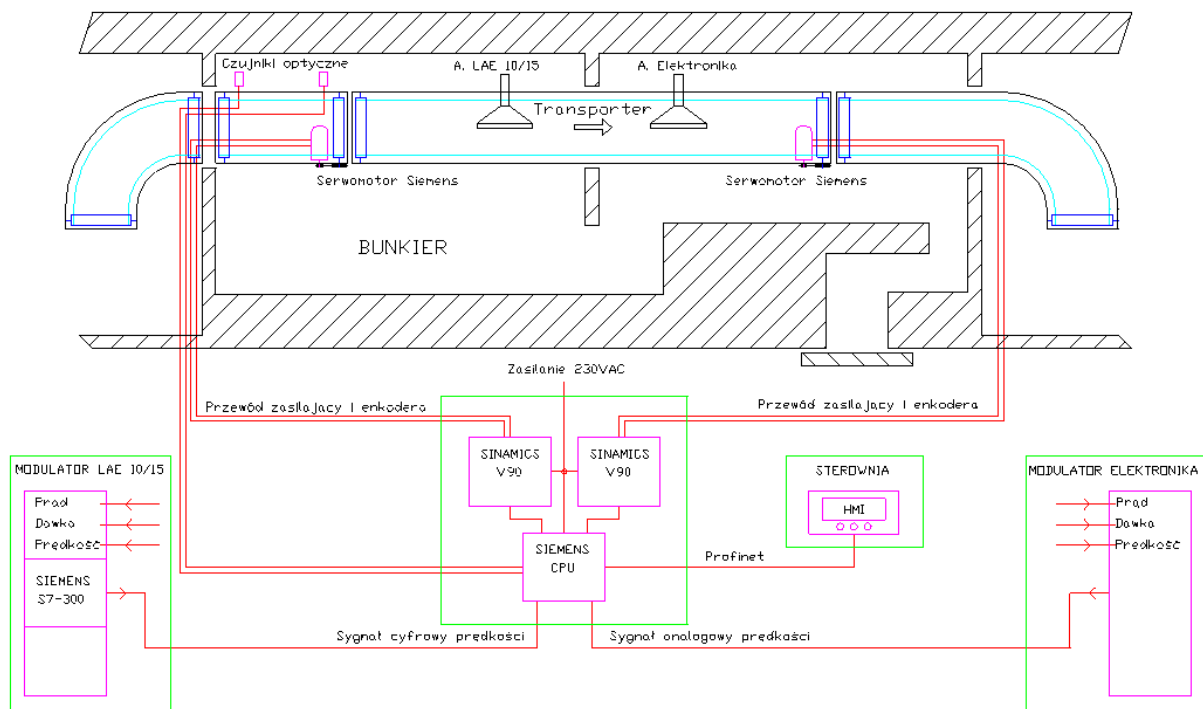
Rys. 20. Sterownik S7-1200.

Podstawowe parametry sterownika Simatic S7-1200 są następujące:

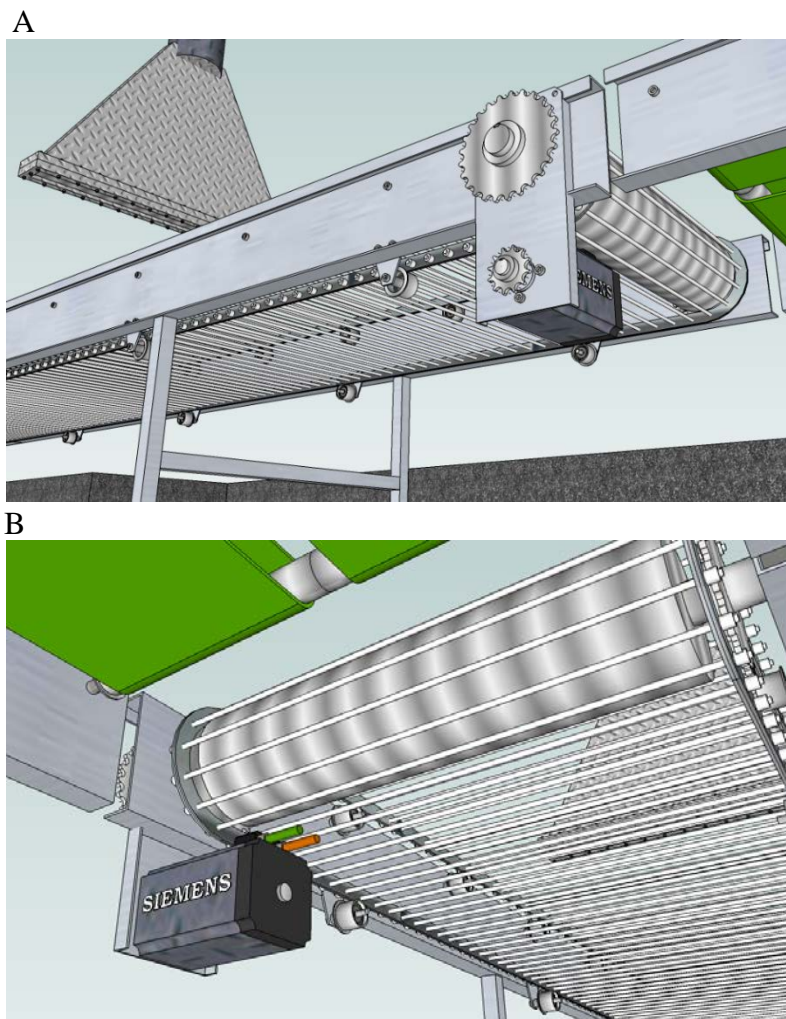
- CPU 1211C,
- DC/DC/DC,
- 6 wejść binarnych (24 V DC),
- 4 wyjścia binarne (24 V DC),
- 2 wejścia analogowe (0-10 V DC),
- zasilanie – 24 V DC,
- pamięć programu/danych – 50 kb,
- możliwości rozbudowy o 3 moduły komunikacyjne i/lub 1 płytkę sygnałową,
- firmware 4.x (wymagany tła portal v14 lub wyższy).

3.3. Schemat ideowy połączeń elektrycznych układu sterowania transporterem

Instalacja elektryczna transportera wymaga zasilania trójfazowego o mocy 1,5 kW przewodem neutralnym N i ochronnym PE. Centralnym elementem jest metalowa szafa sterownicza firmy ABB o wymiarach 50 × 40 × 25 cm (wys. × szer. × gł.). Mieszczą się w niej zabezpieczenia przeciążeniowe, sterownik CPU i zasilacze serwonapędów.



Rys. 21. Schemat ideowy połączeń elektrycznych układu sterowania prędkością transportera.



Rys. 22. Napęd transportera: A – widok z boku, B – widok od spodu.

Na rys. 21 przedstawiono schemat ideowy połączeń elektrycznych instalacji transportera. Okablowanie połączeń pomiędzy szafą a napędami, przyciskami i czujnikami jest długości około kilkudziesięciu metrów ze względu na konieczność prowadzenia przez specjalnie przygotowane przepusty w ścianach o grubości około 1 m. Sterownik centralny na podstawie parametrów pracy obu akceleratorów oblicza wartości sygnałów sterujących prędkością transportera i czuwa nad jej ustabilizowaniem, aby utrzymać zadaną dawkę promieniowania w zakresie dopuszczalnych błędów. Całą instalacją transportera można zarządzać poprzez panel dotykowy HMI, zainstalowany w sterowni Stacji Sterylizacji Radiacyjnej IChTJ. Widoczne są na nim sygnały z czujników optycznych, dane wejściowe z obu akceleratorów i parametry pracy transportera.

3.4. Zamocowanie napędów

Na rys. 22 pokazano miejsce zamocowania serwonapędu firmy Siemens, sprzęgniętego z rolką napędową za pośrednictwem przekładni łańcuchowej o przełożeniu 1:8. Koła przekładni można zmieniać w razie potrzeby poprzez wymianę odbiorczego koła łańcuchowego.

4. DODATKOWE MODYFIKACJE UKŁADU TRANSPORTERA

4.1. Optymalizacja położenia pojemnika w trakcie procesu sterylizacji radiacyjnej

Optymalizacja położenia pojemnika w trakcie procesu sterylizacji radiacyjnej ma na celu optymalne wykorzystanie wiązki elektronów, co z kolei ma wymiar ekonomiczny. Na rys. 23 przedstawiono wykres zmiany poziomu kosztów jednostkowych obróbki radiacyjnej w zależności od współczynnika wykorzystania wiązki elektronów. Zależność tę wyliczono na podstawie analizy wskaźników ekonomicznych związanych z kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi instalacji radiacyjnej. Jak widać z przebiegu krzywej, dla zachowania korzystnych wskaźników ekonomicznych należy zadbać o ograniczanie strat wiązki.



Rys. 23. Zmiany poziomu kosztów jednostkowych obróbki radiacyjnej w zależności od współczynnika wykorzystania wiązki elektronów.

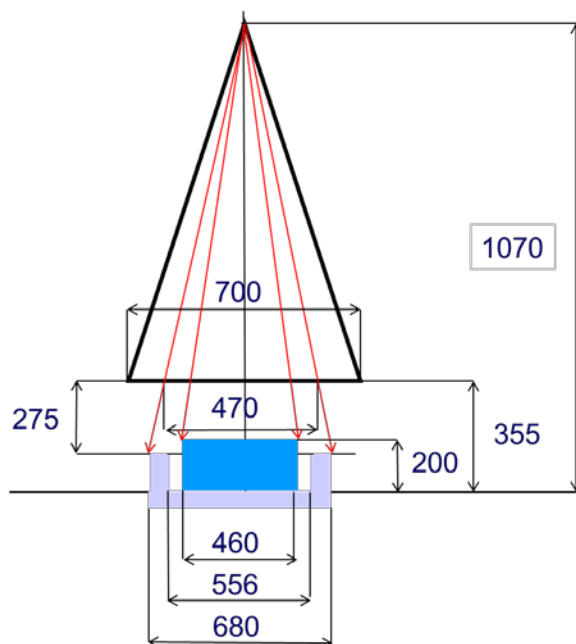
Na wielkość współczynnika wykorzystania wiązki elektronów wpływa szereg czynników. Do najważniejszych zaliczyć należy:

- straty w powietrzu (η_p) – 0,6-1,0,
- straty w oknie wyjściowym akceleratora (η_o) – 0,8-1,0,

- straty wynikające z zasięgu elektronów (η_z) – 0,7-0,8,
- straty związane z geometrią wiązki i obiektu poddanego obróbce (η_g) – 0,8-0,9,
- straty wynikające z wypełnieniem pojemnika (η_s) – 0,8-0,9.

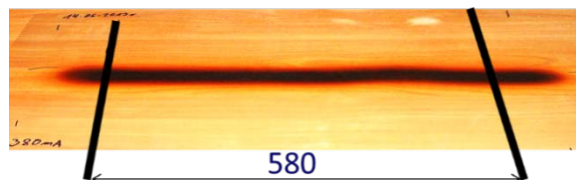
Łącznie współczynnik wykorzystania wiązki (η) mieści się w przedziale 0,2-0,7.

Straty wiązki w powietrzu i oknie wyjściowym akceleratora są do pominięcia przy energii elektronów 5-10 MeV, co ma zwykle miejsce w przypadku instalacji przeznaczonej do prowadzenia procesu obróbki radiacyjnej. Straty związane z systemem transportu związane są z geometrią wiązki i obiektu poddanego obróbce. Na rys. 24 przedstawiono schematycznie geometrię wyprowadzenia wiązki w akceleratorze Elektronika 10/10 oraz transportera przeznaczonego do prowadzenia procesu sterylizacji radiacyjnej.



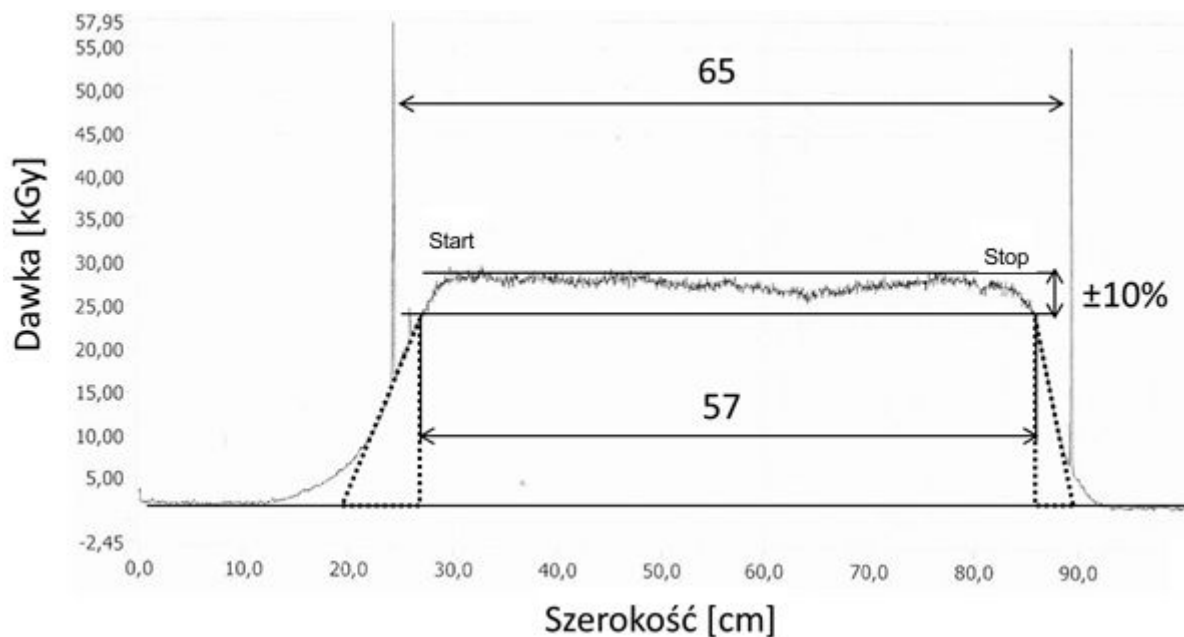
Rys. 24. Geometria wyprowadzenia wiązki w akceleratorze Elektronika 10/10 oraz transportera przeznaczonego do sterylizacji radiacyjnej.

Typowym działaniem w celu określenia położenia śladu wiązki elektronów na powierzchni transportera są pomiary z wykorzystaniem folii PVC. Typowy zapis rozkładu śladu wiązki elektronów na folii dozymetrycznej z PVC z zaznaczoną szerokością transportera przedstawiono na rys. 25. Jednak ze względu na zastosowanie dawki znacznie przekraczającej zakres odpowiedzi liniowej folii pomiar taki ma wyłącznie znaczenie dla określenia stopnia symetrii rozkładu dawki w poprzek transportera. Dla oceny stopnia wykorzystania wiązki konieczne jest zmierzenie rozkładu intensywności wiązki elektronów na powierzchni transportera w kierunku poprzecznym do kierunku transportu obiektów poddawanych sterylizacji radiacyjnej (rys. 26).



Rys. 25. Ślad wiązki elektronów na folii dozymetrycznej z PVC z zaznaczoną szerokością transportera.

Przy szerokości pojemnika do napromieniowania wynoszącej 46 cm wielkość strat związanych z wykorzystaniem wiązki dla danej geometrii układu stanowi około 30%. Warto zaznaczyć, że około 12% strat wynika z rozproszenia wiązki na skrajach obszaru przemiatania. Jest to bezpośredni wynik otrzymany dla układu z liniowym przemiataniem wiązki. Straty te można

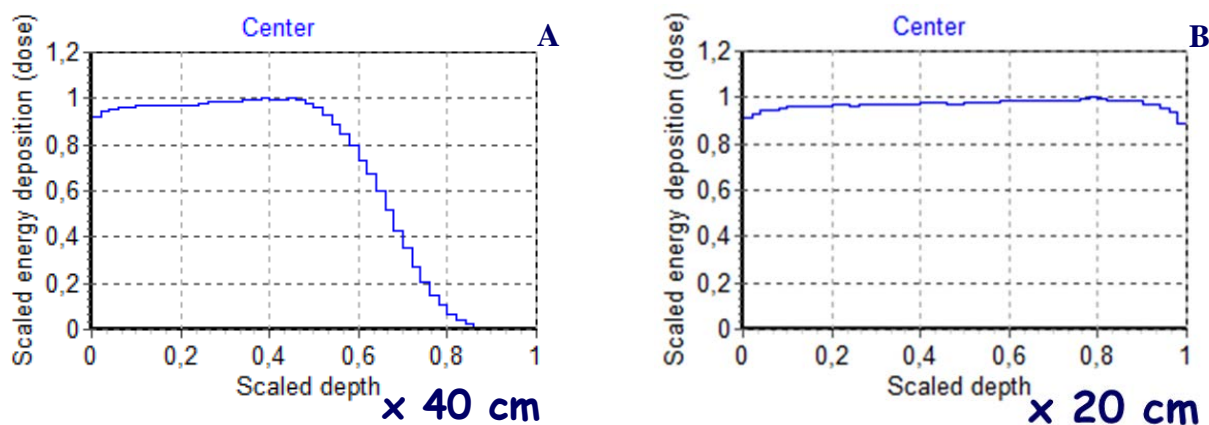


Rys. 26. Rozkład dawki mierzonej przy wykorzystaniu folii dozymetrycznej z PVC na powierzchni transportera w kierunku przemiatania wiązki elektronów.

wyeliminować, korygując dodatkowo tor elektronów na wyjściu poprzez zastosowanie elektromagnesu i wyprowadzenie wiązki równoległej. Pozostałe 18% strat ($\pm 9\%$) to marginesy niezbędne dla zachowania odpowiednich warunków sterylizacji radiacyjnej dla pojemników przemieszczanych w stosunku do osi transportera. Ewentualne zmniejszenie tych marginesów, a tym samym zwiększenie wydajności instalacji np. o 10%, wymagałoby zastosowania stabilizacji mechanicznej położenia pojemników względem osi transportera.

4.2. Optimalizacja położenia taśmy nośnej transportera

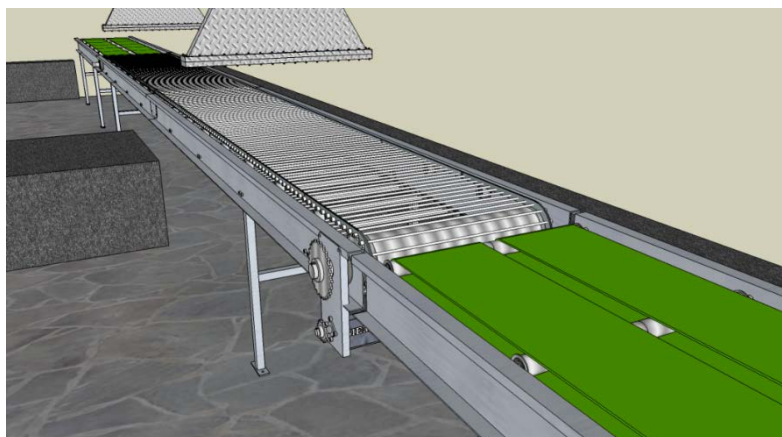
Straty ze względu na zasięg elektronów są związane jedynie pośrednio z systemem transportu w Stacji Sterylizacji Radiacyjnej. Ze względów na charakterystykę sterylizowanych wyrobów medycznych przyjęto geometrię układu wyprowadzenia wiązki, dla której maksymalna użytkowa wysokość materiałów poddawanych obróbce radiacyjnej wynosi 20 cm (rys. 24). Wprowadzie odległość między wyprowadzeniem wiązki a powierzchnią transportera wynosi 35,5 cm, ale około 15,0 cm zajmuje konstrukcja monitora emisji wtórnej, wykorzystywanego do ciągłej rejestracji prądu średniego wiązki elektronów. Na rys. 27 przedstawiono rozkład dawki



Rys. 27. Rozkład dawki głębinowej wyrobu z polietylenu o gęstości $0,125 \text{ g/cm}^3$ przy wysokości opakowania 20 cm, energii elektronów 9,1 MeV, głębokości 40 cm (A) i 20 cm (B).

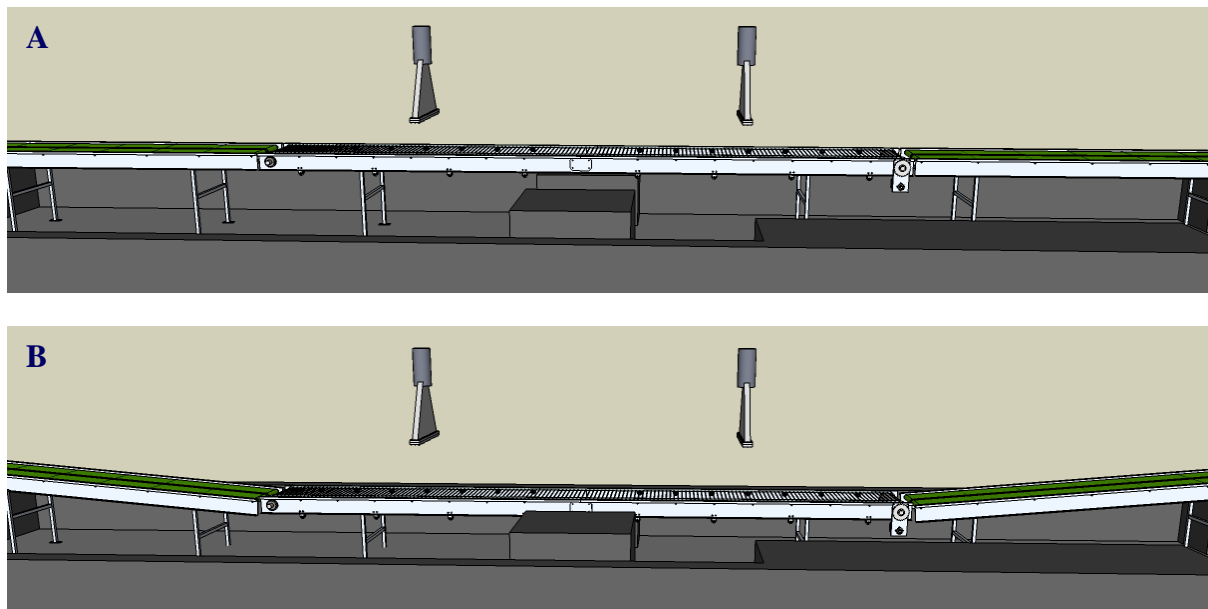
głębinowej wyrobu z polietylenu o gęstości $0,125 \text{ g/cm}^3$ przy wysokości opakowania 20 cm i energii elektronów 9,1 MeV. Wykorzystanie wiązki elektronów ze względu na ich zasięg wynosi w tych warunkach 74%.

Aktualnie graniczna dopuszczalna gęstość materiału w Stacji Sterylizacji Radiacyjnej przy wysokości opakowania 20 cm wynosi $0,125 \text{ g/cm}^3$. W przypadku mniejszej gęstości materiałów ($0,06\text{-}0,07 \text{ g/cm}^3$), z których wytworzone są wyroby (np. odzież chirurgiczna, maseczki jednorazowego użytku), wykorzystanie wiązki jest o połowę mniejsze, co znacznie podwyższa koszt obróbki radiacyjnej i wydłuża czas realizacji zlecenia.



Rys. 28. Widok transportera o regulowanej prędkości zamocowanego pod układami wyprowadzenia wiązki z obu akceleratorów.

W przypadku znacznej partii materiałów o obniżonej gęstości przeznaczonych do sterylizacji radiacyjnej należy rozważyć możliwość zwiększenia odległości między wyprowadzeniem wiązki a powierzchnią transportera do 60 cm (wysokość użytkowa – 45 cm).



Rys. 29. Zmiana konfiguracji transportera w celu zwiększenia odległości między wyprowadzeniem wiązki a powierzchnią transportera: A – pozycja wyjściowa przy wysokości użytkowej 20 cm, B – pozycja krańcowa przy wysokości użytkowej 40 cm.

Na rys. 28 przedstawiono widok transportera o regulowanej prędkości zamocowanego pod układami wyprowadzenia wiązki z obu akceleratorów. Zasadniczo zamierzony efekt można osiągnąć podnosząc cały zespół akceleratora łącznie z układem przemieszczania, sekcją

przyspieszającą, falowodem i magnetronem z niezbędnym oprzyrządowaniem. Inna możliwość to obniżenie (i w razie potrzeby ponowne podwyższenie) transportera o regulowanej prędkości (rys. 29). Czynność ta w warunkach eksploatacyjnych powinna być wykonana zdalnie w czasie nieprzekraczającym 10 min. W tym celu konieczne jest zainstalowanie podpór o regulowanej wysokości dla transportera o regulowanej prędkości. W związku z tym należy rozważyć konieczność (celowość) modyfikacji transporterów podającego i odbierającego pojemniki z wyrobami przeznaczonymi do sterylizacji radiacyjnej.

5. PODSUMOWANIE

W ramach niezbędnych działań związanych z modernizacją urządzeń przeznaczonych do prowadzenia rutynowej działalności w zakresie sterylizacji radiacyjnej dokonano wymiany konstrukcji mechanicznej transportera o regulowanej prędkości, przeznaczonego do prowadzenia procesu napromieniowania wyrobów medycznych jednorazowego użytku. Wykonano niezbędne testy, uruchomiono i wdrożono do regularnej eksploatacji zmodyfikowany transporter. Ponadto opracowano założenia i schemat funkcjonalny oraz zgromadzono elementy i podzespoły niezbędne do wprowadzenia zmian w systemie regulacji prędkości transportera, a także wymiany analogowych systemów sterowania i silników prądu stałego na systemy mikroprocesorowe i silniki prądu zmiennego firmy Siemens. Tak zmodernizowany układ będzie sterować jednocześnie działaniem dwóch akceleratorów przeznaczonych do prowadzenia procesu sterylizacji.

Dokonano analizy wykorzystania wiązki elektronów w procesie sterylizacji radiacyjnej związanej z geometrią wiązki przyspieszonych elektronów oraz wymiarów geometrycznych i położenia elementów nośnych transportera.

Przygotowano wstępne założenia dotyczące możliwości obniżenia (i w razie potrzeby ponownego podwyższenia) transportera o regulowanej prędkości. Czynność ta w warunkach eksploatacyjnych powinna być wykonana zdalnie w czasie nieprzekraczającym 10 min. W tym celu konieczne jest zainstalowanie podpór o regulowanej wysokości dla transportera o regulowanej prędkości. Należy rozważyć konieczność (celowość) modyfikacji transporterów podającego i odbierającego pojemniki z wyrobami przeznaczonymi do sterylizacji radiacyjnej w celu podwyższenia wydajności instalacji w trakcie sterylizacji radiacyjnej materiałów o gęstości około 0,06-0,07 g/cm³.

6. LITERATURA

- [1]. Zimek Z., Kałuska I. (1998). Economical aspects of radiation sterilization with electron beam. *W Radiation technology for conservation of the environment. Proceedings, Zakopane, Poland, 8-12.09.1997* (s. 457-465). Vienna: IAEA. IAEA-TECDOC-1023.
- [2]. Zimek, Z., Kałuska, I. (2002). Sterilization dose auditing for various types of medical products. *Radiat. Phys. Chem.*, 63, 673-674.
- [3]. Zimek, Z. (2018). Pre-feasibility study of setting up an electron beam R&D facility. Warszawa: Institute of Nuclear Chemistry and Technology. Raporty IChTJ, Seria B nr 1/2018.