



Optymalizacja systemu kontroli jakości akceleratora Halcyon

Halcyon accelerator quality control system optimization

Maciej Raczkowski¹, Marzena Janiszewska¹, Adam Maciejczyk²

¹Zakład Fizyki Medycznej, Dolnośląskie Centrum Onkologii we Wrocławiu, pl. Hirszfelda 12, 53-413 Wrocław, tel. +48 71 36 89 588, e-mail: janiszewska.m@dco.com.pl

²Zakład Radioterapii, Dolnośląskie Centrum Onkologii we Wrocławiu, pl. Hirszfelda 12, 53-413 Wrocław

Streszczenie

Abstract

Cel. Celem pracy jest przedstawienie metody optymalizacji kontroli jakości wiązki oraz poprawności działania kolimatora MLC akceleratora Halcyon. Punktem wyjścia do optymalizacji systemu kontroli był algorytm MPC (Machine Performance Check). Opracowanie niezależnych metod weryfikacji działania kolimatora SX2 oraz kontroli stabilności wiązki akceleratora Halcyon oparto na niezależnych od MPC algorytmach. Opracowany system kontroli jakości skonfrontowano z systemem MPC pod względem jakościowym i ilościowym.

Materiały i metoda. Optymalizacja kontroli jakości stabilności wiązki oraz poprawności działania kolimatora SX2 oparta została o algorytmy aplikacji MyQA. Testy dla wiązki promieniowania objęły sprawdzenie stabilności wydajności oraz stałości energii. Druga grupa testów związanych z wiązką to testy geometryczne obejmujące analizę takich parametrów, jak: symetria, płaskość, półcień, rozmiar oraz centrum wiązki promieniowania. Testy kolimatora SX2 to testy stabilności, powtarzalności i dokładności pozycjonowania listków MLC oraz poprawność pracy kolimatora MLC dla złożonych układów, dla techniki IMRT oraz VMAT. Oprogramowanie myQA bazuje na predefiniowanych algorytmach opartych na wytycznych raportu grupy zadaniowej AAPM 142. W celu dostosowania wytycznych raportu AAPM-142 do potrzeb rozwiązań konstrukcyjnych aparatu Halcyon zbudowano bazę niezależnych testów opartych na algorytmach aplikacji myQA i porównano z testami zaproponowanymi przez firmę Varian w oprogramowaniu MPC.

Wyniki. Analiza parametrów wiązki dla zbudowanego systemu QA okazała się głębsza niż w przypadku testów dla algorytmu MPC (obraz 1a i b). Testy MPC dotyczące jakości wiązki to stałość wydajności oraz jednorodności. Wyniki obu testów przedstawione są w formie pojedynczej wartości z ustalonymi poziomami tolerancji: 4% i 2%. Zaproponowany system kontroli, oprócz testu stałości wydajności (obraz 2a) z dwoma poziomami tolerancji (warning 1,0%, error 1,5%), rozszerza kontrole wiązki o stałości energii oraz symetrii, płaskości, półcienia, rozmiaru i położenia środka (obraz 2b). Poziomy tolerancji dla testów jakościowych wiązki, w odróżnieniu od systemu MPC, to szereg wartości opartych na wytycznych raportu IAEA TRS 389. Kontrola pracy kolimatora SX2 w systemie MPC to analiza dokładności i odtwarzalności ustawienia dla pojedynczych listków, dla układów statycznych. Zaproponowany system QA pozwala testować stabilność, powtarzalność i dokładność pozycjonowania listków MLC dla układów dynamicznych.

Dyskusja. Zaproponowany, niezależny system QA, w odróżnieniu od systemu MPC, pozwala na znaczące zmniejszenie poziomów tolerancji dla stałości wydajności oraz wprowadza ich zróżnicowanie dla poszczególnych parametrów geometrycznych wiązki. Przedstawiony system QA pozwala na testowanie dokładności pracy kolimatora MLC dla układów dynamicznych stosowanych w technikach IMRT oraz VMAT. Czas realizacji i dostępność czasowa wyników, jak również możliwość analizy trendów czasowych to mocna strona obu systemów.

Słowa kluczowe: optymalizacja VMAT QA, akcelerator Halcyon MPC – Machine Performance Check

Purpose/Objective. The purpose of the work is to present a method for optimizing beam quality control and correct operation of the Halcyon MLC collimator. The starting point for optimizing the control system was the MPC (Machine Performance Check) algorithm. The development of independent methods for verifying the operation of the SX2 collimator and checking the beam stability of the Halcyon accelerator was based on algorithms independent of MPC.

Material and methods. Optimization of quality control of beam stability and correctness of SX2 collimator operation was based on MyQA application algorithms. Tests for the radiation beam included checking performance stability and energy constancy. The second group of beam-related tests are geometric tests involving the analysis of parameters such as symmetry, flatness, penumbra, size and center of the radiation beam. SX2 collimator tests are tests of stability, repeatability and accuracy of MLC leaf positioning, and correctness of MLC collimator operation for complex systems, for IMRT and VMAT techniques. MyQA software is based on predefined algorithms based on the guidelines of the AAPM 142 task group report. In order to adapt the guidelines of the AAPM-142 report to the needs of the Halcyon design solutions, a database of independent tests based on the myQA application algorithms has been built.

Results. The analysis of radiation beam parameters for the built-in control system turned out to be more insightful than in the case of tests proposed by the MPC algorithm (image no. 1). Two MPC tests directly addressing the quality of the radiation beam are stability performance and homogeneity, presented in the form of two numerical values along with time trend analysis. The values obtained in the case of the proposed control system give a much deeper analysis, extended to control energy constancy and symmetry, flatness, penumbra, size and center of the radiation beam (image no. 2). Control of the SX2 collimator operation, in the case of the MPC system, is an analysis of the accuracy and reproducibility of the settings of each individual leaf for static MLC systems. The proposed system allows testing the stability, repeatability and accuracy of MLC leaf positioning for dynamic systems that reflect clinical working conditions.

Conclusion. The time needed for the implementation of the presented range of tests is similar for both systems. Both systems offer analysis of time trends and the creation of test reports. The proposed system for controlling the basic parameters of the Halcyon accelerator, unlike the MPC system, allows for a deeper analysis of the beam quality and correctness of the MLC collimator in conditions similar to those prevailing during the implementation of the treatment plan.

Key words: Optimization VMAT QA, Halcyon accelerator, MPC – Machine Performance Check

otrzymano / received:

01.02.2021

poprawiono / corrected:

05.02.2021

zaakceptowano / accepted:

10.02.2021

Wprowadzenie

Współczesna radioterapia zmierza w kierunku automatyzacji poszczególnych procesów. Widzimy to w zakresie technik kontrowania, planowania leczenia, ale przede wszystkim w metodologii generowania wiązki promieniowania i dostarczania dawki. Tradycyjne modyfikatory, modulatory rozkładu dawki, jak ostony statyczne, filtry klinowe, kompensatory, wielopolowe techniki pól cząstkowych i asymetrycznych, przez kolejne lata ustępowały miejsca technikom modulowanym dynamicznie. Zmiany postępowały od technik „step and shoot”, po IMRT czy wreszcie po tuki dynamiczne wiążące jednocześnie modulację wielkości pola, kąta padania wiązki i mocy dawki. To właśnie techniki rotacyjno-dynamiczne, stają się krok po kroku złotym standardem radioterapii, gdzie przy relatywnie krótkim czasie realizacji leczenia, optymalnej ochronie tkanek zdrowych, dają przesłankę do stwierdzenia, że jest to optymalna forma dostarczania promieniowania w teleradioterapii. W relacji do takiej optymalizacji procesu radioterapii rozwija się i zmienia port maszynowy, którym dysponujemy. Akceleratory z wyborem kilku energii wiązek fotonowych, z wyborem trybu formowania wiązki na stożkowe lub bez, oraz z opcją dostarczania wiązek elektronowych, zastępowane są powoli urządzeniami, które pozwalają w szybki sposób dostarczyć w technice VMAT, przy wysokiej mocy dawki, modulowaną wiązkę o energii 6 MeV. Do takich urządzeń należy prezentowany w tej pracy akcelerator Halcyon. Urządzenie jednoenergetyczne, z możliwością napromieniania wyłącznie technik dynamicznych. Dzięki ograniczonym parametrom energetyczno-mechanicznym formowania wiązek jest urządzeniem o wąskim zakresie koniecznych do wykonania testów, co pozwala ograniczyć czas kontroli i weryfikacji na rzecz użytku klinicznego, przy jednocześnie wysokim poziomie zgodności planowania leczenia rzeczywistością pomiarową urządzenia.

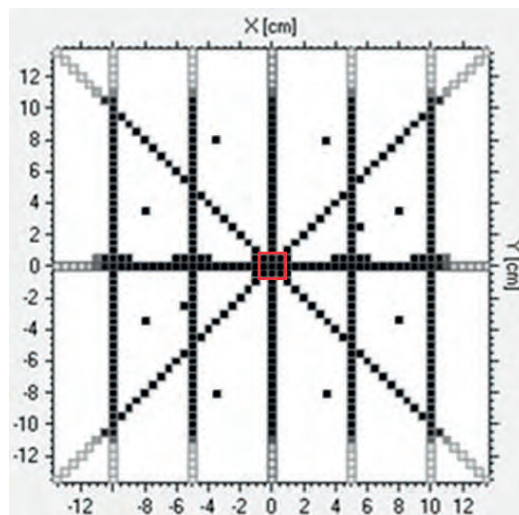
Cel

Celem pracy jest przedstawienie metody optymalizacji kontroli jakości wiązki promieniowania oraz poprawności działania kolimatora MLC (*Multileaf Collimator*) akceleratora Halcyon firmy Varian Medical Systems. Punktem wyjścia do optymalizacji systemu kontroli jakości akceleratora Halcyon był algorytm MPC (*Machine Performance Check*). Algorytm MPC jest zbiorem testów codziennych przygotowanych i udostępnionych użytkownikom przez firmę Varian Medical Systems. Procedura MPC jako element systemu QA (*Quality Assurance*) pojawiła się w aparatach firmy Varian razem z premierą nowej generacji akceleratorów – TrueBeam, jednak w przypadku aparatu Halcyon stała się obowiązkowym elementem porannej procedury rozruchowej. Założeniem projektu było opracowanie systemu QA opartego na niezależnych od MPC algorytmach, obejmującego swoim zakresem działanie kolimatora SX2 oraz kontrolę stabilności wiązki akceleratora Halcyon. Opracowany system kontroli jakości skonfrontowano z systemem MPC pod względem jakościowym i ilościowym.

Materiały i metoda

Optymalizacja systemu kontroli jakości, obejmująca stabilności wiązki oraz poprawności działania kolimatora SX2, oparta została o algorytmy aplikacji MyQA firmy IBA Dosimetry.

Testy dla wiązki promieniowania objęły sprawdzenie stabilności wydajności oraz stałości energii. Druga grupa testów związanych z wiązką to testy geometryczne obejmujące analizę takich parametrów, jak: symetria, intensywność w punkcie przegięcia, półcień, rozmiar oraz centrum wiązki promieniowania. Kontrola parametrów fizycznych i geometrycznych wiązki promieniowania dokonywana była przy użyciu niezależnego urządzenia pomiarowego w postaci matrycy StarTrack firmy IBA Dosimetry. Odpowiednie rozmieszczenie komór jonizacyjnych zastosowane w matrycy pomiarowej StarTrack pozwala na pełną analizę wiązki zarówno pod kątem stałości wydajności, jak i parametrów geometrycznych. Stałość wydajności mierzona jest przez komory znajdujące się w środkowej części matrycy (Ryc. 1), a wartość odniesienia uzyskiwana jest podczas kalibracji krzyżowej z referencyjnym zestawem dozymetrycznym (elektrometr + komora jonizacyjna) posiadającym aktualne świadectwo wzorcowania w Laboratorium Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych.



Ryc. 1 Matryca StarTrack – prezentacja komór wykorzystywanych do pomiaru stałości wydajności

Źródło: Materiał własny.

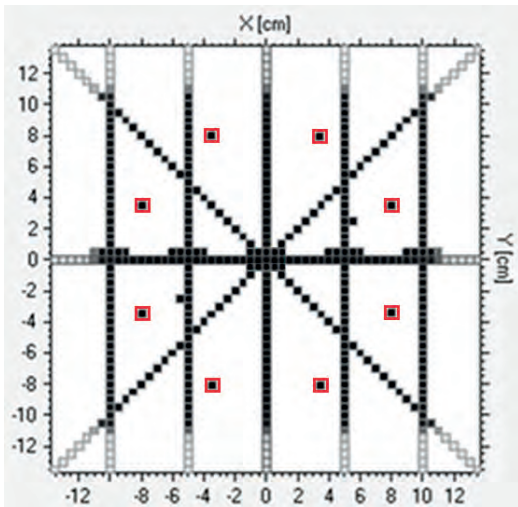


Ryc. 2 Photon Energy Verification Plate – nakładka ekwiwalentna (5 cm wody) z elementami do kontroli stałości energii

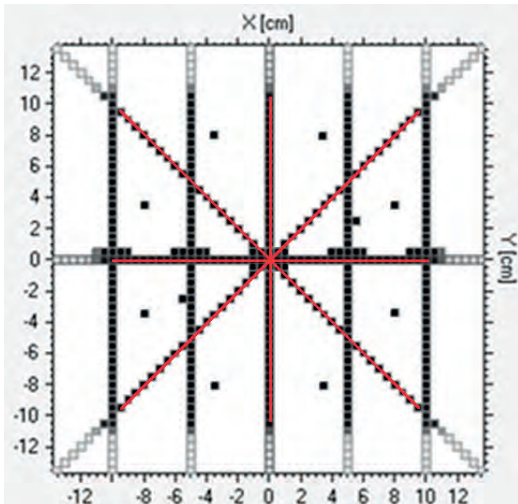
Źródło: Materiał własny.



Pomiar stałości wydajności odbywa się w warunkach izocentrycznych dzięki zastosowaniu odpowiedniej nakładki stanowiącej ekwiwalent 5 cm wody (Ryc. 2). Zastosowana nakładka stanowi również bazę do kontroli stałości energii. Wbudowane w rogach nakładki walce, wykonane z materiałów o różnej gęstości, pozwalają komorom umieszczonym bezpośrednio pod nimi na pomiar w warunkach dwóch różnych głębokości (Ryc. 3).



Ryc. 3 Matryca StarTrack – prezentacja komórek wykorzystywanych do pomiaru stałości energii
Źródło: Materiał własny.



Ryc. 4 Matryca StarTrack – prezentacja komórek wykorzystywanych do symetrii, intensywności w punkcie przecięcia i półcienia wiązki promieniowania
Źródło: Materiał własny.

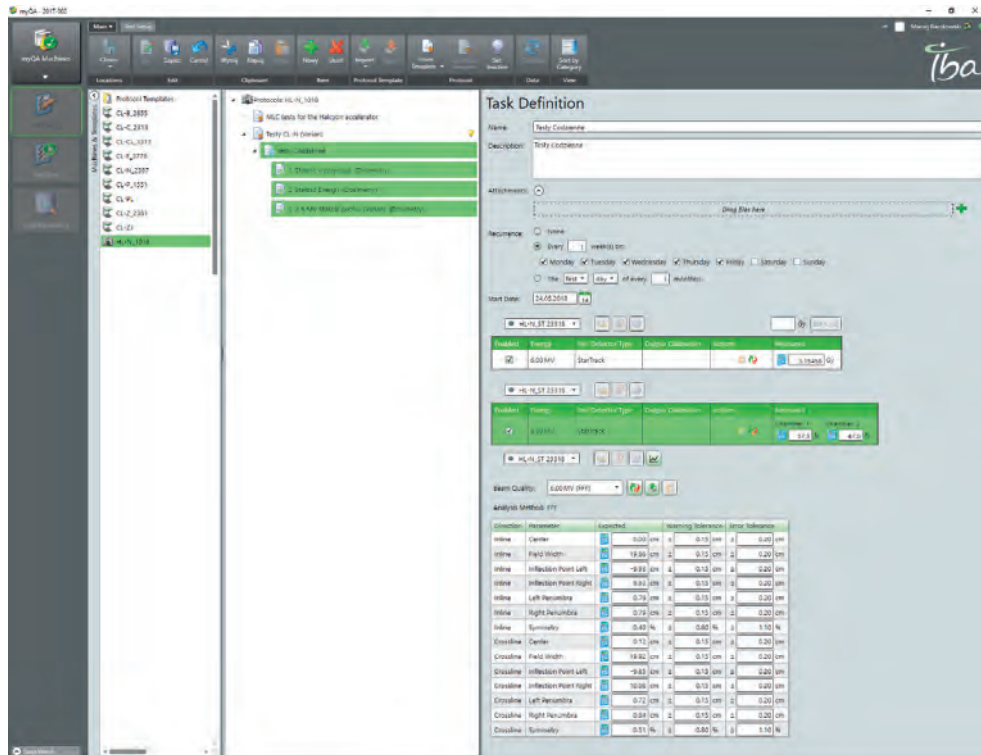
Kontrola stałości energii odbywa się poprzez badanie stałości dwóch punktów na krzywej PGD (Procentowa Dawka Głębokościowa). Komory rozmieszczone na brzegach oraz przekątnych pól kwadratowych 5 x 5, 10 x 10 i 20 x 20 cm (Ryc. 4) pozwalają na analizę symetrii, intensywność w punkcie przecięcia i półcienia wiązki promieniowania. Dla określonego wymiaru pola ograniczonego przez kolimator MLC SX2 uzyskujemy możliwość określenia

rzeczywistego wymiaru pola promieniowania oraz odchylenia jego środka od osi wiązki. Możliwość określenia odchylenia środka pola promieniowania do osi wiązki ma szczególne znaczenie w przypadku akceleratora Halcyon. Ze względu na rozwiązania konstrukcyjne akcelerator Halcyon nie posiada symulacji świetlnej pola promieniowania, co utrudnia dokładne określenie pozycji izocentrum.

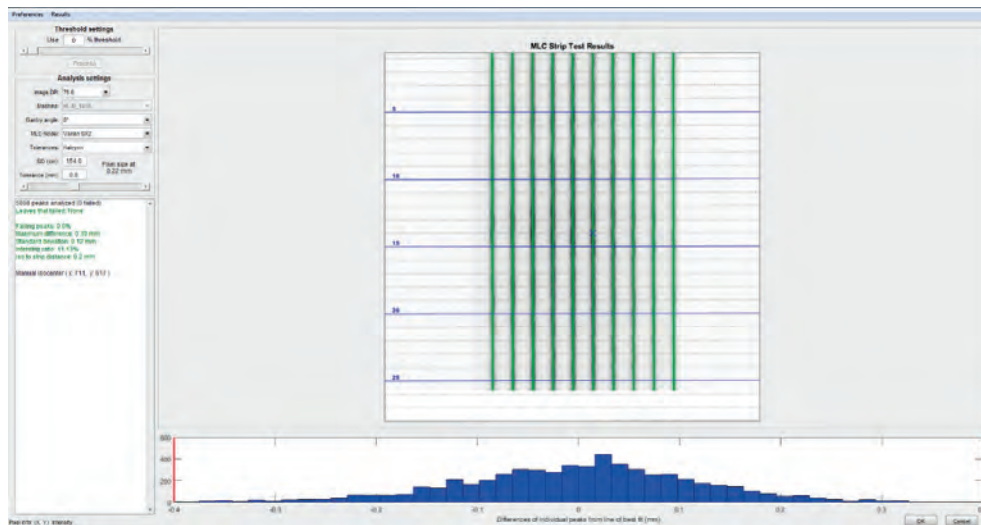
Dodatkowo układ wskaźników laserowych znajduje się na zewnątrz obudowy, a miejsce ich przecięcia wyznacza tzw. izocentrum pozorne. Sprawdzenie dokładności izocentrum rzeczywistego odbywa się więc poprzez ustawienie układu pomiarowego w izocentrum pozornym i przesunięciu układu o zdefiniowaną odległość w miejsce izocentrum rzeczywistego. Taka procedura wymaga wykonania zdjęcia sprawdzającego, pozwalającego na określenie, czy środek układu pomiarowego ustawionego w oparciu o układ laserów zewnętrznych pokrywa się ze środkiem układu na wykonanym zdjęciu. Zastosowanie do weryfikacji dokładności ustawienia izocentrum rzeczywistego, matrycy StarTrack, pozwala w tym samym czasie – podczas jednej ekspozycji, sprawdzić: izocentrum – środek pola promieniowania oraz jego wymiar, półcień, symetrię, intensywność w punkcie przecięcia wiązki promieniowania oraz stałość wydajności i energii (Ryc. 5). Jeden układ pomiarowy oraz pojedyncza ekspozycja pozwalają na całościowe sprawdzenie jakości wiązki promieniowania akceleratora Halcyon.

Testy kolimatora SX2 to testy: stabilności, powtarzalności i dokładności pozycjonowania pojedynczych listków MLC oraz poprawność pracy kolimatora MLC dla złożonych układów, dla techniki IMRT oraz VMAT. Podstawą do analizy ww. parametrów kolimatora MLC były obrazy uzyskane na matrycy MV zintegrowanej z akceleratorem Halcyon. Przygotowane plany zawierające odpowiednie układy kolimatora SX2 po zaimportowaniu do obszaru roboczego Machine QA aparatu Halcyon i zrealizowaniu – napromienieniu, importowane były bezpośrednio do oprogramowania myQA. Zaimplementowane w aplikacji myQA algorytmy dedykowane dla testów MLC, a oparte na wytycznych raportu grupy zadaniowej AAPM 142, zostały dostosowane do potrzeb rozwiązań konstrukcyjnych aparatu Halcyon. Pierwszym etapem dostosowania wytycznych raportu TG AAPM-142 do specyfiki akceleratora Halcyon była definicja kolimatora SX2 obejmująca jego pełną charakterystykę.

Kolejnym etapem była budowa bazy niezależnych testów opartych na algorytmach aplikacji myQA wraz z progami tolerancji i zakresami ich stosowalności. W zależności od zakresu kontrolowanych parametrów pracy kolimatora oraz złożoności jego układu, podstawowe testy MLC podzielono na testy codzienne, tygodniowe i miesięczne. Testy codzienne i tygodniowe to testy jakościowe bazujące na układzie listków MLC w postaci przesuwającej się szczeliny (test płotkowy), a ruchowi listków nie towarzyszy ruch głowicy. Badając dokładność ustawienia pakietów listków, uzyskujemy informację o dokładności ustawienia poszczególnych listków, maksymalnej różnicy w zdefiniowanej i zmierzonej pozycji wraz z odchyleniem standardowym oraz maksymalną wartością przecieku na styku między listkami – test MLC PF qualitative (Ryc. 6a i 6b).



Ryc. 5 System myQA – zestaw testów codziennych do kontroli wiązki promieniowania
Źródło: Materiał własny.

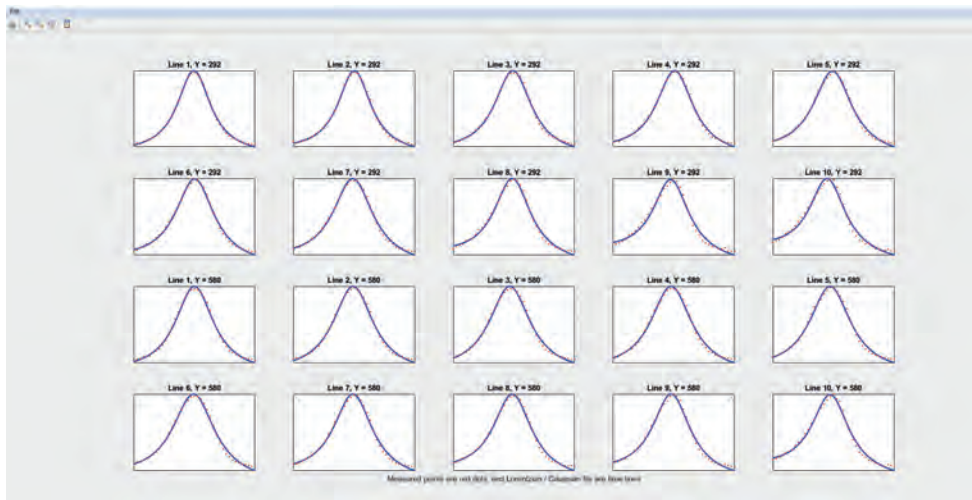


Ryc. 6a System myQA – prezentacja wyniku testu MLC PF qualitative for gantry position 0°
Źródło: Materiał własny.

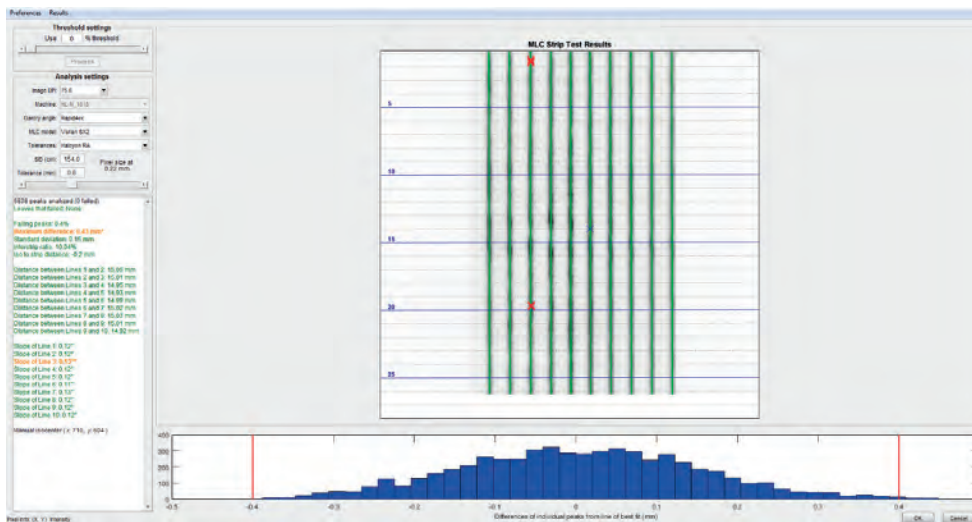
Testy codzienne dotyczą referencyjnej pozycji głowy akceleratora 0°, tygodniowe testują pracę kolimatora dla trzech dodatkowych pozycji głowy: 90°, 270° i 180°. Testy miesięczne to testy ilościowe sprawdzające dokładność i powtarzalność prac kolimatora MLC dla techniki IMRT i VMAT. Dwa pierwsze testy z grupy testów miesięcznych to testy płotkowe, pierwszy dla techniki IMRT (pozycja głowy: 0°, 90°, 270° i 180°), drugi dla techniki VMAT. W obu przypadkach badana jest stałość

odległości pomiędzy kolejnymi postojami dynamicznej szczeliny – test MLC PF Leaf Position Accuracy (Ryc. 7a i 7b).

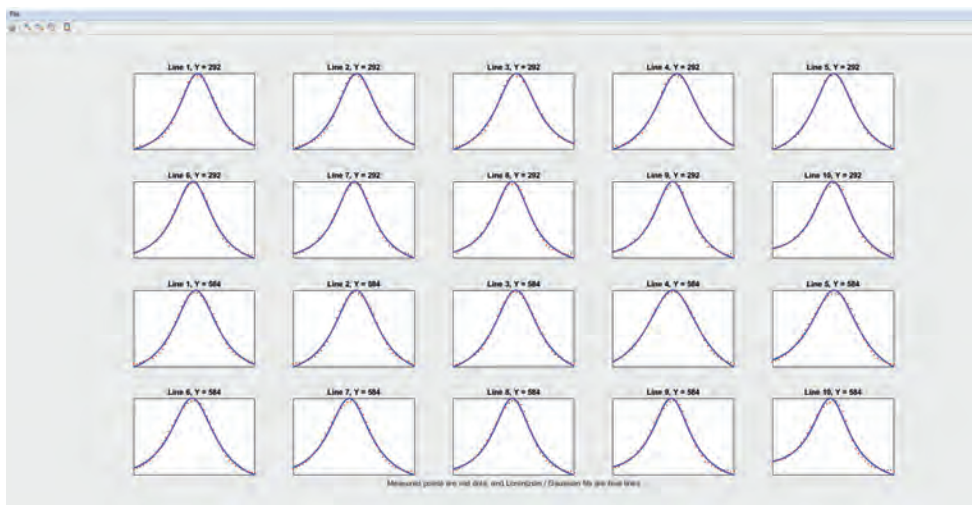
Pozostałe testy badają stabilność pracy kolimatora SX2 dla techniki VMAT przy zmiennej prędkości ruchu samych listków, głowy akceleratora oraz zmiennej wartości mocy dawki. W każdym z trzech ww. testów badana jest stałość sygnału dla zdefiniowanych pakietów listków (Ryc. 8a, 8b i 8c).



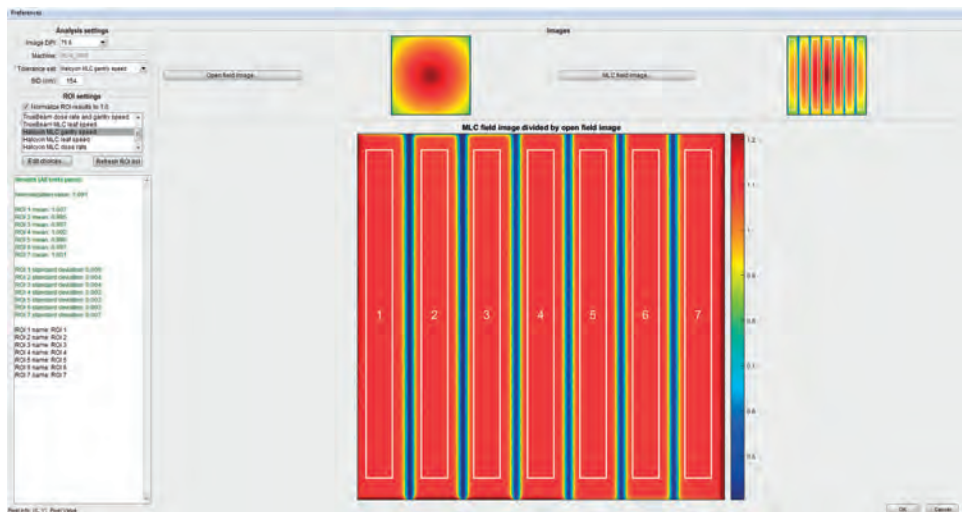
Ryc. 6b System myQA – graficzna prezentacja wyniku testu MLC PF qualitative for gantry position 0°
 Źródło: Materiał własny.



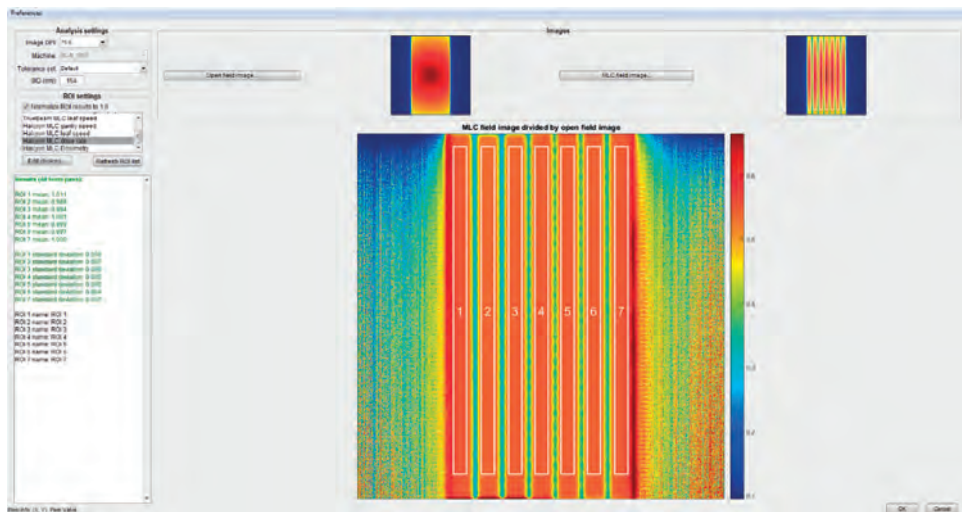
Ryc. 7a System myQA – prezentacja wyniku testu MLC PF Leaf Position Accuracy for RA
 Źródło: Materiał własny.



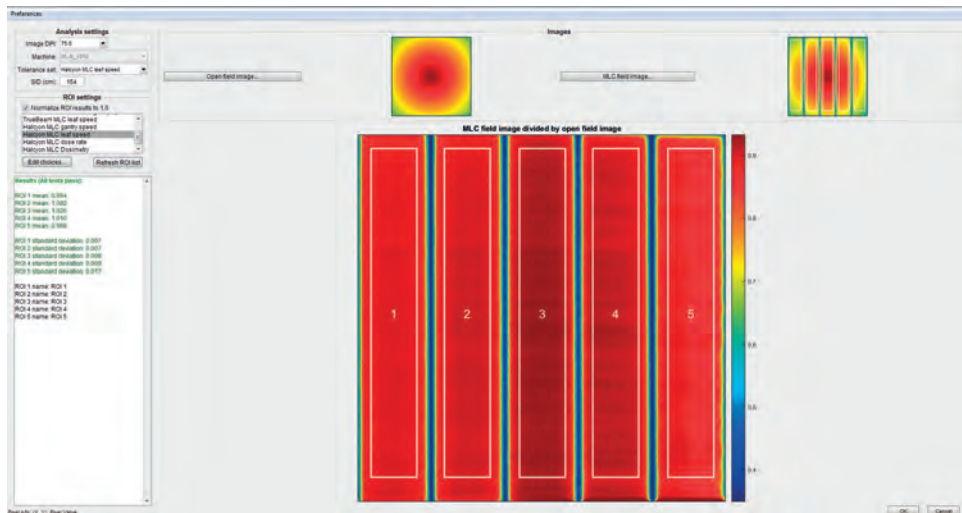
Ryc. 7b System myQA – graficzna prezentacja wyniku testu MLC PF Leaf Position Accuracy for RA
 Źródło: Materiał własny.



Ryc. 8a System myQA – prezentacja wyniku testu *Accurate control of Gantry Speed during RA*
Źródło: Materiał własny.



Ryc. 8b System myQA – prezentacja wyniku testu *Accurate control of Dose Rate during RA*
Źródło: Materiał własny.



Ryc. 8c System myQA – prezentacja wyniku testu *Accurate control of MLC Speed RA*
Źródło: Materiał własny.



Wyniki testów uzyskane w oparciu o algorytmy aplikacji myQA dla pełnego zakresu, a więc obejmujące charakterystykę wiązki promieniowania oraz dokładność i powtarzalność pracy kolimatora SX2, porównano z testami zaproponowanymi przez firmę Varian w oprogramowaniu MPC.

Wyniki

Analiza parametrów wiązki promieniowania dla zbudowanego systemu QA okazała się pełniejsza niż w przypadku testów zaproponowanych w aplikacji MPC (Ryc. 9). Testy MPC dotyczące jakości wiązki to stałość wydajności oraz jednorodności. Wyniki

obu testów przedstawione są w formie pojedynczej wartości, z ustalonymi poziomami tolerancji: odpowiednio 4,0% (warning 3,8%) i 2,0% (warning 1,8%). Dodatkowo system MPC kontroluje poziomy sygnałów dla zestawu komór jonizacyjnych MU1 i MU2.

W tym przypadku, podobnie jak dla dwóch pierwszych testów, wyniki prezentowane są w postaci pojedynczych wartości z dwoma poziomami reakcji (warning 9,8%, error 10,0%). Zaproponowany system kontroli, oprócz testu stałości wydajności (Ryc. 10a) z dwoma poziomami tolerancji (warning 1,0%, error 1,5%), rozszerza kontrole wiązki o stałość energii, symetrii, intensywność w punkcie przegięcia, półcienia, rozmiar i położenie środka pola promieniowania (Ryc. 10b i 10c).

Parameter	Value	Threshold
Isocenter		
• Beam		
Output Change	+0.00%	± 4.00%
Isobeam Change	+0.00%	± 2.00%
MU 1 Beam Change	+0.00%	± 0.00%
MU 2 Beam Change	+0.00%	± 0.00%
Collimation		
Gantry		
Couch		
MV Images		

Ryc. 9 System MPC – zestaw testów codziennych do kontroli wiązki promieniowania
Źródło: Materiał własny.

Task Definition

Name: Terty Cozanna
Description: Terty Cozanna
Recurrence: Every 1 week(s) on -Monday of Tuesday - Wednesday - Thursday - Friday - Saturday - Sunday
Start Date: 2020-01-10

Test Definition

Name: 1. Stałość wydajności
Description: Opisz 1. (stałość wydajności) - wykładowca i kierownik paragona
Opisz 2. (stał. wydaj. test track SA-BM002)

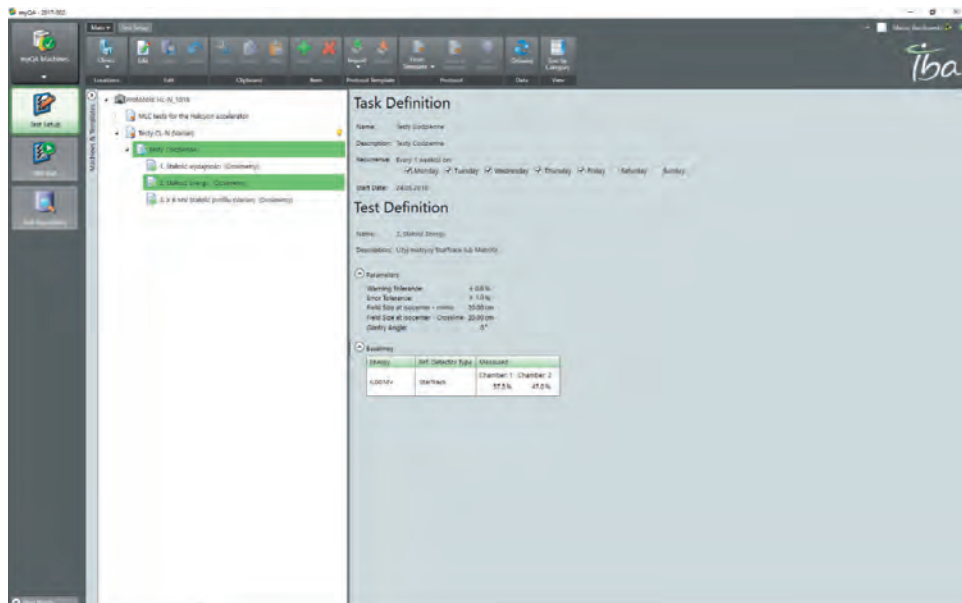
Parameters

Warning Tolerance	± 0.0%
Error Tolerance	± 1.5%
Pass Time at Isocenter - min	20:00 min
Pass Time at Isocenter - max	0:00:00 min
Identify angle	0°

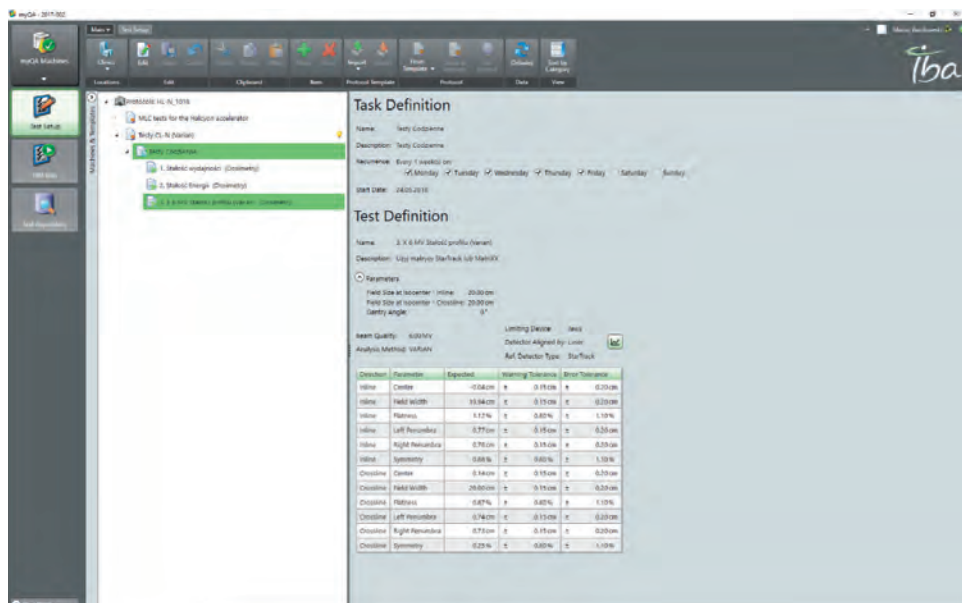
Results

Energy	Field Size	Type	Measured
600kV	10x10cm	StuTrack	0.1240800

Ryc. 10a System myQA – test stabilności wydajności z poziomami tolerancji
Źródło: Materiał własny.



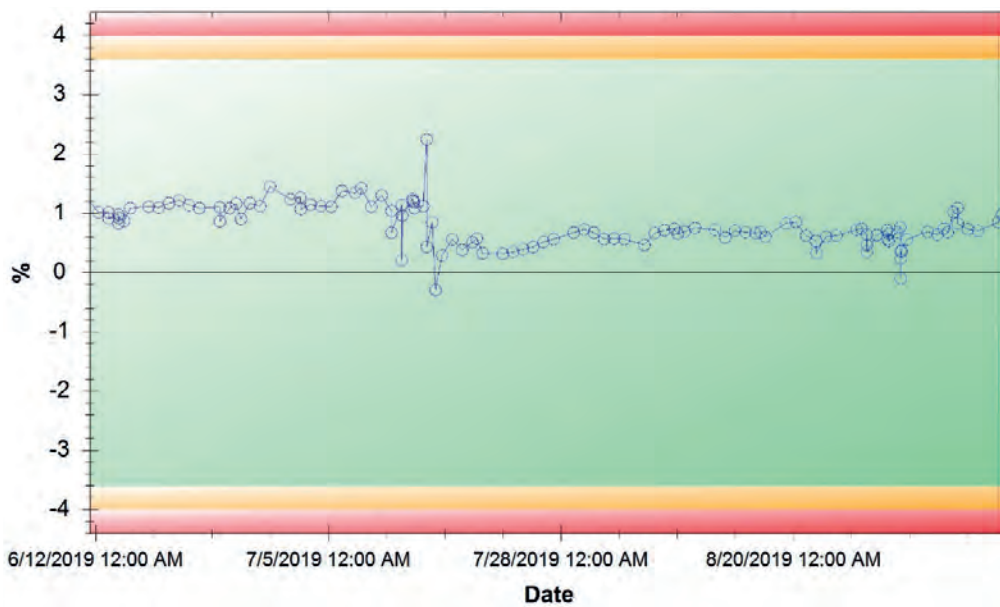
Ryc. 10b System myQA – test stabilności energii z poziomami tolerancji
Źródło: Materiał własny.



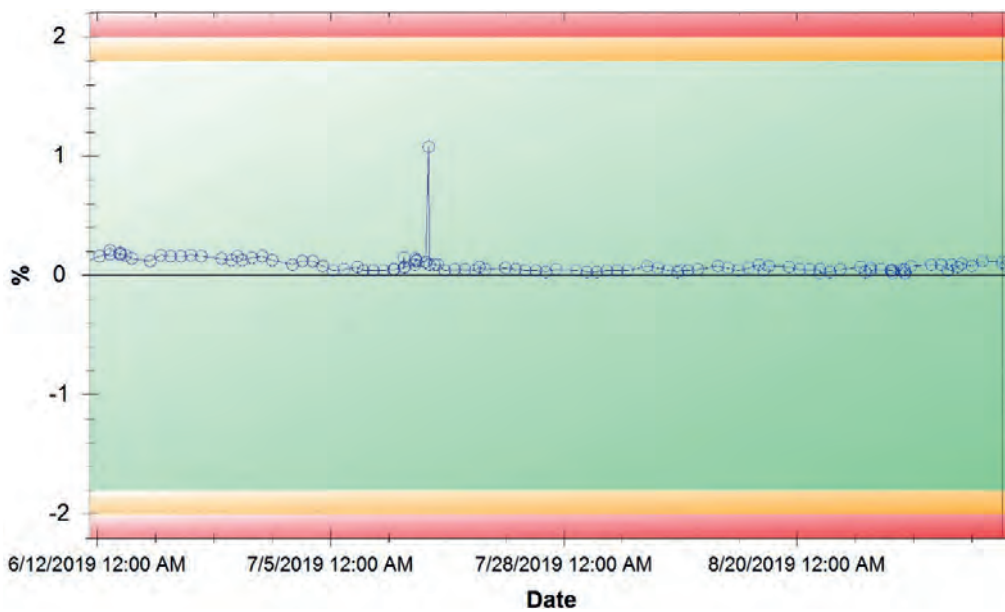
Ryc. 10c System myQA – test stabilności parametrów geometrycznych wiązki z poziomami tolerancji
Źródło: Materiał własny.

Poziomy tolerancji dla testów jakościowych wiązki dla prezentowanego systemu kontroli jakości, w odróżnieniu od systemu MPC, to szereg wartości opartych na wytycznych raportu IAEA TRS 389 Międzynarodowej Agencji Atomistyki. Dodatkowo zmierzone na matrycy StarTrack profile mogą być porównywane z profilami zmierzonymi w warunkach referencyjnych w fantomie wodnym. Wszystkie testy opracowanego systemu kontroli opartego na aplikacji myQA posiadają dwa poziomy tolerancji: ostrzegawczy (warning) oraz poziom przekroczenia przyjętej granicy tolerancji (error). Oba systemy, zarówno ten oparty na aplikacji MPC, jak i zaproponowany, bazujący na aplikacji myQA,

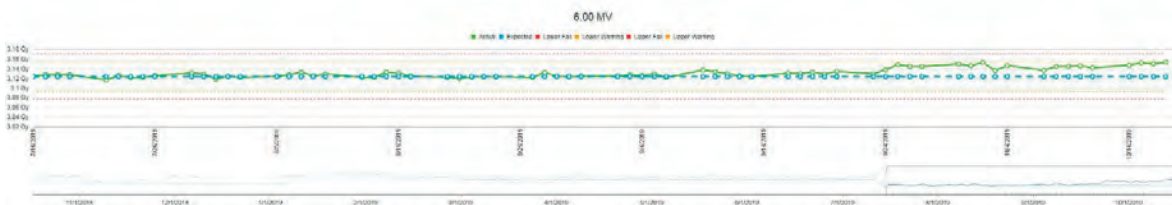
wykazują zbliżone wyniki dla wspólnego zakresu testów związanych z parametrami fizycznymi wiązki promieniowania. Wyniki testu stałości wydajności dla obu systemów w analizowanym okresie nie różniły się więcej niż o 0,5%. Wynika to z faktu, iż oba systemy są kalibrowane krzyżowo z tym samym referencyjnym układem pomiarowym każdorazowo, kiedy wartość wydajności dla układu referencyjnego zmienia się o więcej niż 1,0%. Niewątpliwą zaletą obu systemów jest możliwość analizy trendów czasowych dla zdefiniowanych parametrów wiązki promieniowania (Ryc. 11a i 11b dla systemu MPC oraz Ryc. 12a i 12b dla systemu myQA).



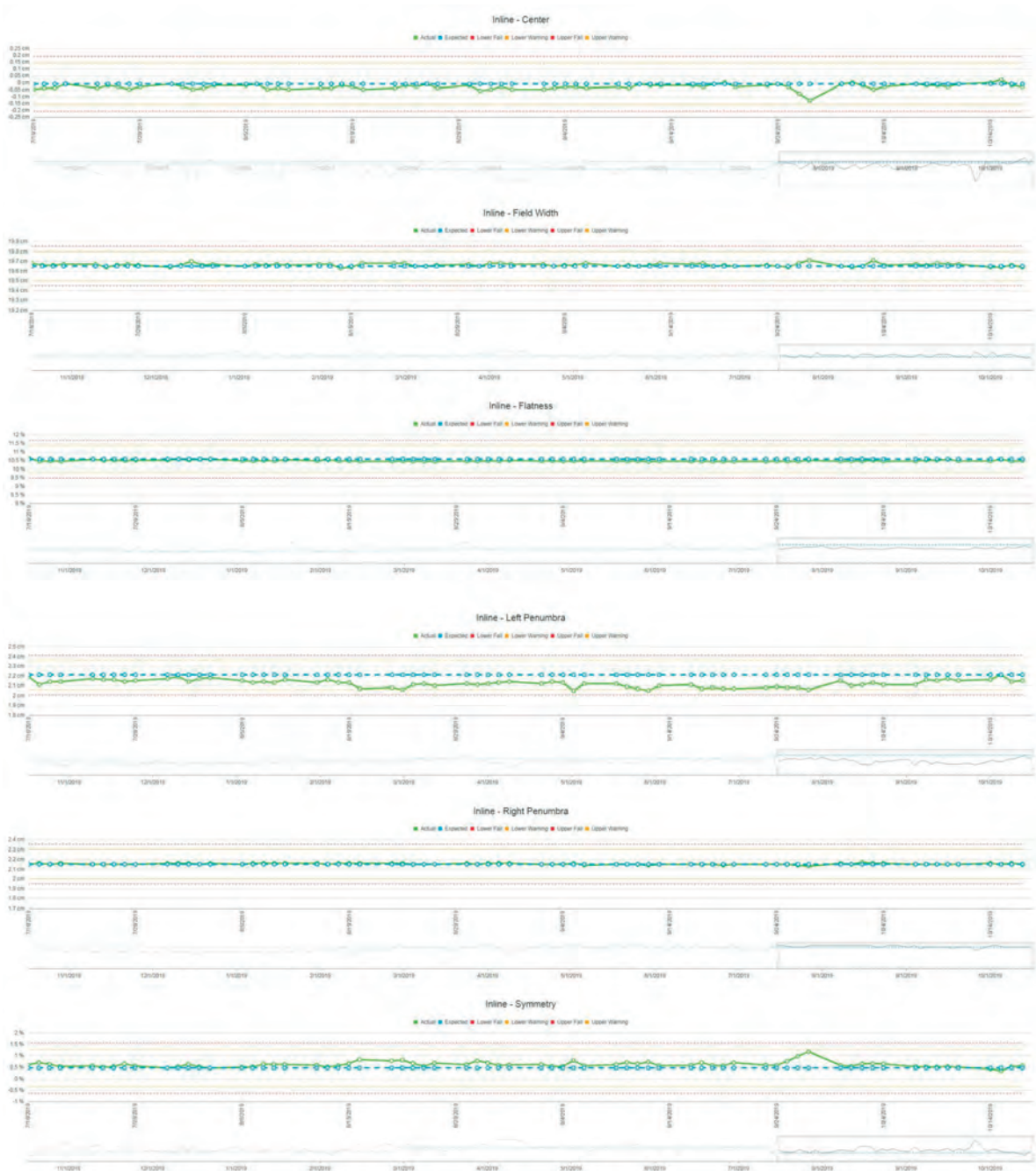
Ryc. 11 System MPC – linia trendu dla testu stabilności wydajności
 Źródło: Materiał własny.



Ryc. 11b System MPC – linia trendu dla testu jednorodności wiązki
 Źródło: Materiał własny.



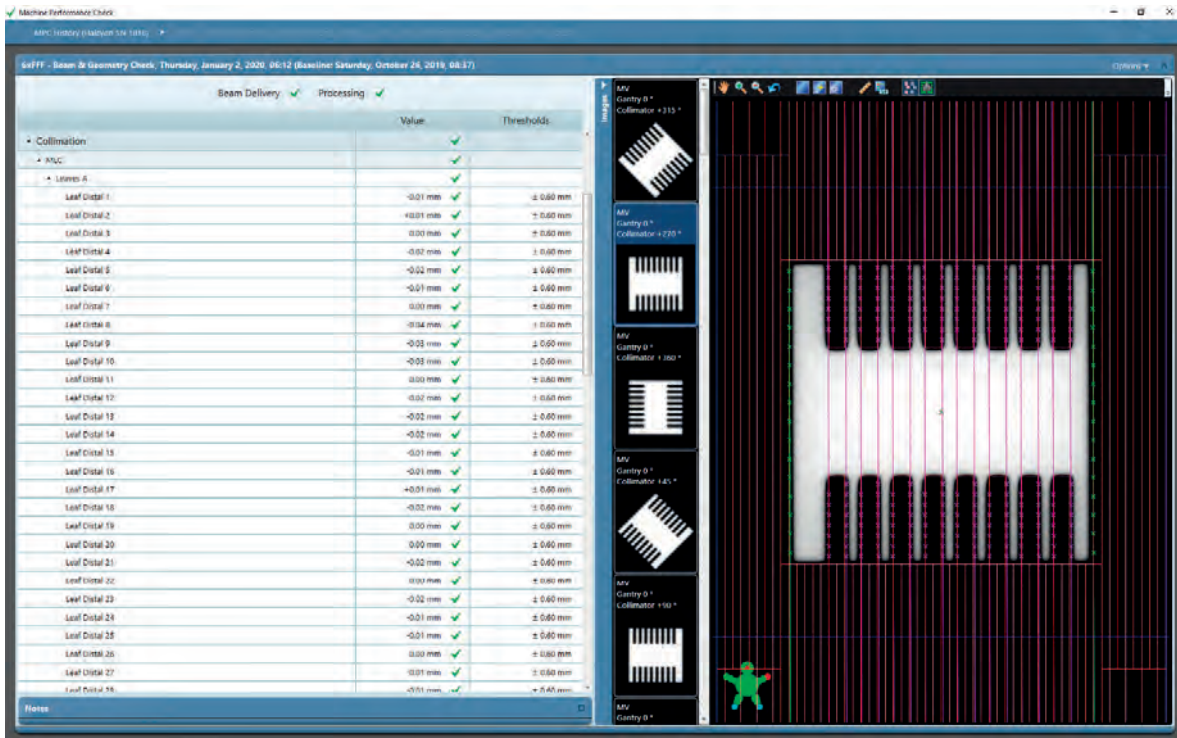
Ryc. 12a System myQA – linia trendu dla testu stabilności wydajności
 Źródło: Materiał własny.



Ryc. 12b System myQA – linie trendu dla testu stabilności parametrów geometrycznych wiązki
 Źródło: Materiał własny.

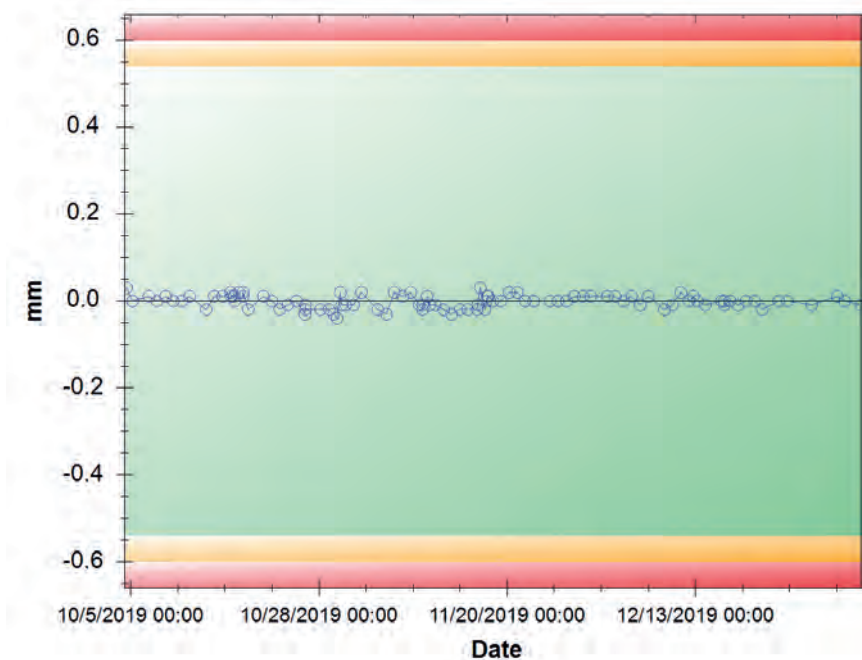
Kontrola pracy kolimatora SX2 w systemie MPC to analiza dokładności i odtwarzalności ustawienia dla pojedynczych listków. MPC na podstawie sekwencji zdjęć statycznych układów listków MLC oblicza dokładność i odtwarzalność ustawienia każdego z nich. Wyniki dostępne są w postaci tabeli z wartościami dla pojedynczych listków oraz wartościami tolerancji (Ryc. 13). Granica tolerancji dla dokładności pozycjonowania wynosi $\pm 0,6$ mm, a dla powtarzalności $\pm 0,8$ mm. Dla tożsamych testów w opracowanym systemie tolerancja dla dokładności i powtarzalności wynosi $\pm 0,5$ mm dla poziomu „warning” i $\pm 0,6$ mm dla poziomu

„error”. Testy dokładności i powtarzalności zdefiniowane w systemie myQA bazują na układach dynamicznych, dynamicznie przesuwającej się szczeliny lub pakietu listków poruszających się z różną prędkością przy zmiennej prędkości głowicy akceleratora lub zmiennej w czasie mocy dawki. W zależności od badanego parametru (zmienna prędkość głowicy, zmienna w czasie moc dawki, zmienna prędkość listków MLC) wartości odniesienia oraz przyjęte granice tolerancji dobrane są odpowiednio do jednego z trzech testów: Accurate control of Gantry Speed during RA, Accurate control of Dose Rate during RA, Accurate



Ryc. 13 System MPC – tabela z wartościami stabilności pracy dla pojedynczych listków MLC

Źródło: Materiał własny.



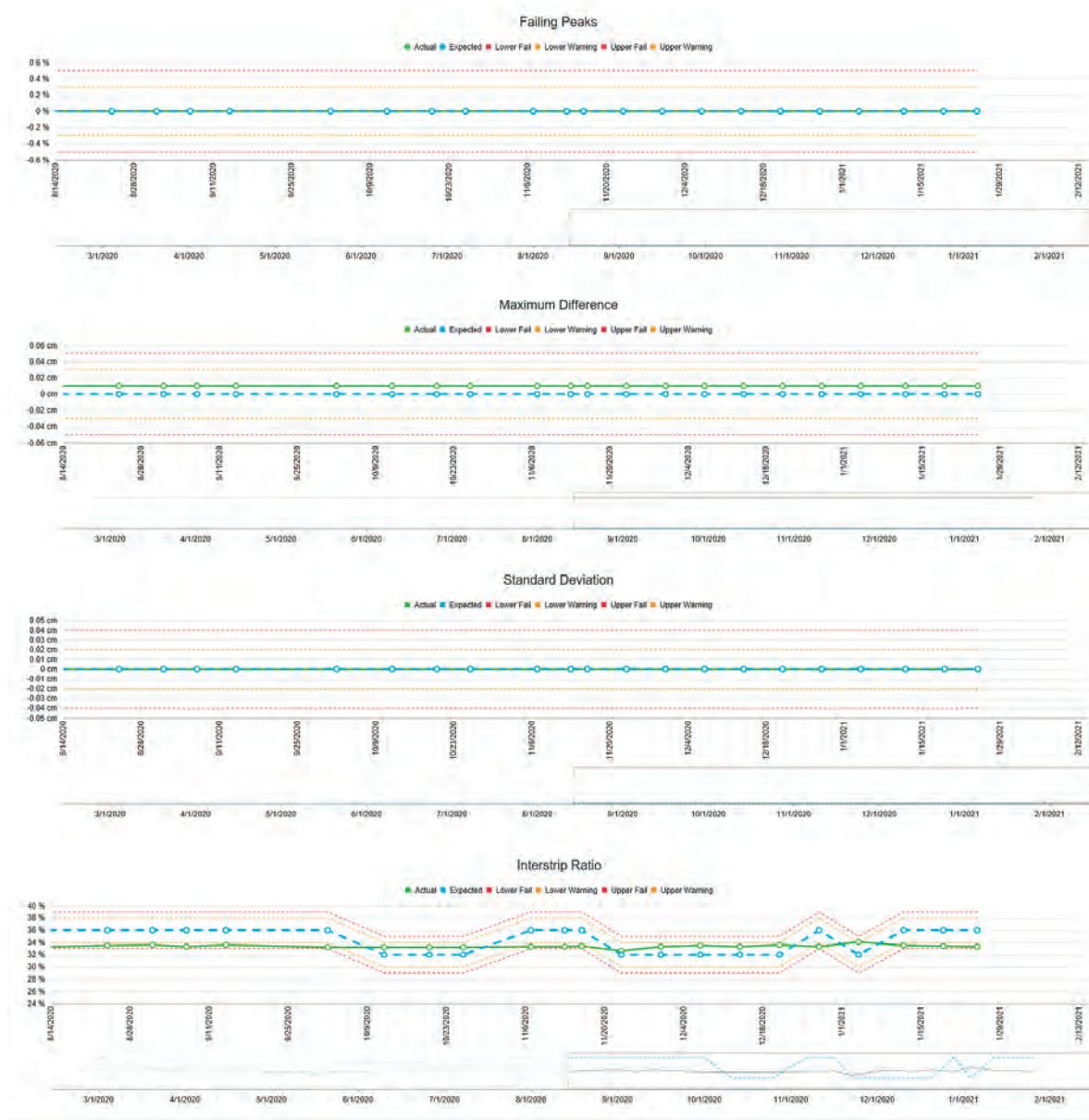
Ryc. 14a System MPC – linia trendu dla testu stabilności pracy dla pojedynczego listka MLC

Źródło: Materiał własny.

control of MLC Speed RA. Porównanie wyników kontroli kolidatora SX2 dla systemów MPC i myQA jest niezwykle trudne ze względu na różnice w zakresie i charakterze testowanych parametrów. Podobnie jak w przypadku testów dotyczących wiązki promieniowania, również dla testów MLC oba systemy pozwalają na analizę trendów czasowych (Ryc. 14a i 14b).

Dyskusja

Zaproponowany, niezależny system QA, w odróżnieniu od systemu MPC, pozwala na znaczące zmniejszenie poziomów tolerancji dla stałości wydajności oraz wprowadza ich zróżnicowanie dla poszczególnych parametrów geometrycznych wiązki. Pojedynczy



Ryc. 14b System myQA – linie trendu dla poszczególnych parametrów testu MLC PF qualitative for gantry position 0°

Źródło: Materiał własny.

parametr jednorodności wiązki zaproponowany w systemie MPC, którego wynik przedstawiany jest w postaci pojedynczej wartości liczbowej w systemie myQA, to zbiór testów opartych o wytycznicę raportu IAEA TRS 389 Międzynarodowej Agencji Atomistyki.

W zakresie kontroli parametrów fizycznych wiązki promieniowania informacja uzyskiwana na podstawie opracowanych testów (aplikacja myQA) jest zdecydowanie pełniejsza i dająca możliwość analizy pojedynczych parametrów wpływających na jakość wiązki. Testy MPC wnoszą jednak więcej informacji dotyczącej poprawności działania i dokładności ustawienia między innymi stołu, kąta głowicy akceleratora oraz kolimatora, jak również detektorów MV i kV. W tym zakresie niezależne testy wykonywane są zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami prawa.

Testy dotyczące zastosowanego w akceleratorze Halcyon kolimatora MLC SX2 to w przypadku systemu MPC sprawdzenie dokładności i powtarzalności ustawienia każdego pojedynczego listka. System myQA testuje kolimator SX2 jako grupę dynamicznie poruszających się par i pakietów listków. Testowanie dokładności pracy kolimatora MLC dla układów dynamicznych stosowanych w technikach IMRT oraz VMAT jest bliższe rzeczywistym warunkom pracy kolimatora SX2. Z tego powodu testy zaproponowane w aplikacji myQA są raczej uzupełnieniem testów MPC niż ich alternatywą.

Czas realizacji i dostępność czasowa wyników, jak również możliwość analizy trendów czasowych to mocna strona obu systemów. 