



Audyt dozymetryczny dla wiązek elektronowych po testach dopuszczających do użytku klinicznego dla nowo zainstalowanego akceleratora liniowego

Dosimetrical audit for electron beams after commissioning of the new-installed linac

Dominika Oborska-Kumaczyńska, Oi-Ching Choi

Nuffield Healthcare Cancer Centre London, 49 Parkside, Wimbledon, United Kingdom, e-mail: dominika.oborska-kumaczynska@cancercentreondon.co.uk

Wprowadzenie

Narodowe Laboratorium Fizyczne (NPL) opracowuje i utrzymuje dla Wielkiej Brytanii pierwotne wzorce dawki dla dozymetrii promieniowania, w tym te, które dotyczą radioterapii wiązką zewnętrzną. Na potrzeby pomiarów dawki/mocy dawki dla aparatów radioterapeutycznych, NPL przeprowadza kalibracje detektorów promieniowania w odniesieniu do pierwotnego standardu kalorymetrycznego (kalorymetr grafitowy), co zapewnia dokładność

i spójność metrologiczną w dozymetrii. Aparaty terapeutyczne są zwykle kalibrowane przy użyciu układów dozymetrycznych, kalibrowanych względem komór jonizacyjnych wzorca wtórnego (komory jonizacyjne NE 2561 zaprojektowane przez NPL), połączone z elektrometrem spełniającym kryteria dozymetru wzorca wtórnego. Zarówno komory, jak i elektrometry są kalibrowane i wyznaczane są dla nich współczynniki korekcyjne w NPL [1].

114

Streszczenie

Audyty dozymetryczne są niezbędnym elementem zapewnienia spójności dozymetrycznej i bezpiecznej radioterapii. Audyt dozymetrii referencyjnej dla wiązek radioterapeutycznych jest częścią kompletnego systemu zapewnienia jakości. W 1991 roku IPSM utworzyło regionalne grupy audytowe, dzieląc Wielką Brytanię na osiem regionów geograficznych. Grupy te przeprowadzają audyty między zrzeszonymi ośrodkami co roku i *ad hoc* na żądanie w przypadku nowo zainstalowanego systemu radioterapii, systemu planowania leczenia, nowej techniki i modeli obliczeniowych. W 1994 roku IPEM zaprosił NPL do przeprowadzenia niezależnych audytów, które miały stanowić powiązanie z pierwotnym wzorcem metrologicznym dla dawki, początkowo przeprowadzając jeden audyt dozymetrii fotonów MV na region rocznie, a później rozszerzono go o audyty dozymetrii referencyjnej elektronów oraz kV. Obecnie dotyczy to również technik specjalnych, takich jak SABR w przypadku leczenia nowotworów płuca, SRS dla leczenia nowotworów kręgosłupa i mózgowia.

Słowa kluczowe: audyt dozymetryczny, wiązki elektronowe, spójność dozymetryczna

Abstract

Audit is imperative in delivering consistent and safe radiotherapy. Audit of reference dosimetry for radiotherapy beams forms part of a complete quality assurance system. In 1991 the IPSM formed regional audit groups, dividing the UK into eight geographical regions. These groups conduct audits between the associated centres on an annual basis and *ad hoc* when requested for the new installed radiotherapy system, treatment planning system, new technique and calculation models. In 1994, NPL was invited by IPEM to provide independent audits to act as a link to the primary standard, initially performing one MV photon dosimetry audit per region per year and later expanded to include electron and kV reference dosimetry audits. Currently it is also escalated to special techniques like i.e. SABR for lung, spine and intracranial SRS for spine.

Key words: dosimetrical audit, electron beams, dosimetrical traceability

otrzymano / received:

22.03.2023

poprawiono / corrected:

27.03.2023

zaakceptowano / accepted:

04.04.2023



W przypadku aparatów terapeutycznych w radioterapii, po przeprowadzeniu weryfikacji w ramach testów akceptacyjnych, zgromadzeniu danych w ramach testów dopuszczających do użytku klinicznego i ich walidacji, dokładność dostarczonej dawki jest oceniana w ramach niezależnego audytu przeprowadzonego przez inny ośrodek, zespół ds. zapewniania jakości badań radioterapii (RTTQA) lub NPL. Audyt dawki referencyjnej oraz zaplanowanej dla warunków klinicznych ma na celu zweryfikowanie, czy urządzenia do leczenia oraz systemy planowania leczenia zostały prawidłowo skalibrowane zgodnie z obowiązującymi standardami CoP (*code of practice*) [2]. Istnieje wiele metod stosowanych w audycie dozymetrycznym, począwszy od lokalnych grup audytowych, po międzynarodowe grupy dysponujące różnymi metodami pomiarowymi, w tym TLD, OSLD [3].

Audyt dozymetrii referencyjnej dla wiązek radioterapeutycznych stanowi część kompletnego systemu zapewniania jakości. W 1991 roku IPSM utworzyło regionalne grupy kontrolne, dzieląc Wielką Brytanię na osiem regionów geograficznych. Grupy te przeprowadzałyby coroczne audyty między stowarzyszonymi ośrodkami. W 1994 roku IPEM zaprosił NPL do przeprowadzania niezależnych audytów, które miały stanowić powiązanie metrologiczne ze wzorcem pierwotnym, początkowo przeprowadzając jeden audyt dozymetrii fotonów MV na region rocznie, a później rozszerzono go o audyty dozymetrii referencyjnej elektronów i kV. Ostatnio włączono do systemu audytowego szczegółowe i złożone audyty oraz testy end-to end, takie jak krajowy audyt radioterapii lukowej, krajowy audyt dla techniki SABR dla nowotworów płuc, krajowy audyt dla technik SRS oraz krajowy audyt brachyterapii doodbytniczej [4, 5]. W zakresie takiego działania uzyskano powiązanie między regionalnymi grupami kontrolnymi, a niezależne audyty NPL zmniejszyły niepewność pomiarów dawek w regionach – co okazało się być kluczowym aspektem zapewnienia dokładnego dostarczania radioterapii [6].

Istnieje wiele zaleceń wskazujących, że audyt dozymetrii referencyjnej powinien odbywać się pomiędzy ośrodkami radioterapii, aby zapewnić prawidłowe stosowanie kalibracji mocy wiązki radioterapeutycznej i zachować dozymetryczną spójność [7]. System nie opiera się na wykładni prawnej, ale jest na tyle silnie ustanowiony, że ośrodki nie wprowadzają do użytku klinicznego nowych systemów i technik bez przeprowadzenia co najmniej audytu w ramach regionalnej grupy audytowej IPEM [8].

Audyt dozymetryczny dla wiązek elektronowych

Audyty dozymetrii referencyjnej NPL wraz z IPEM są przeprowadzane generalnie w ten sam sposób – członkowie grupy audytowej IPEM lub pracownicy NPL przyjeżdżają do audytowanej jednostki i używają własnych kalibrowanych komór, elektrometrów, fantomów, barometrów i termometrów. Członkowie grupy dozymetrycznej IPEM/NPL najpierw wykonują pomiary

wskaźnika jakości wiązki (TPR_{20,10} dla MV, R_{50,D} dla MeV, Half Value Layer (HVL) dla kV), który determinuje współczynniki kalibracyjne dla komory jonizacyjnej wzorca wtórnego (NPL/IPEM) lub komory używanej w rutynowej dozymetrii (IPEM). Pomiar mocy dawki w warunkach odniesienia dla każdej badanej jakości wiązki jest wykonany przy użyciu zarówno sprzętu NPL/ośrodka audytującego w ramach audytowej grupy dozymetrycznej IPEM, jak i sprzętu ośrodka audytowanego. Umożliwia to sprawdzenie współczynników komór kalibrowanych względem wzorca wtórnego. Uzyskane wyniki są następnie porównywane z wynikami ośrodka audytowanego, zmierzonymi w ramach rutynowej kontroli/testów dopuszczających do użytku klinicznego lub obliczonymi z tabel danych. Oprócz weryfikacji dawki pochłoniętej w wodzie, sprawdzana jest również kalibracja termometru i barometru, należących do ośrodka audytowanego, jak również mierzone i obliczane są współczynniki korekcyjne związane z recombinacją jonów, zapewniając pełną niezależną weryfikację dostarczonej dawki i wszystkich etapów pośrednich, opisanych w CoP. Takie postępowanie zapewnia, że każdy aspekt pomiaru mocy dawki wiązki promieniowania jest weryfikowany. Kontrastuje to z kontrolami realizowanymi w oparciu o detektory TLD lub alaninę, w których można porównać tylko dostarczoną dawkę. W ramach danego cyklu audytu realizowanego przez NPL do wszystkich pomiarów stosowano tę samą komorę jonizacyjną wzorca wtórnego, o ile było to możliwe.

W warunkach pomiarowych kalibracji, jak i realizowanych na potrzeby testów QA w praktyce klinicznej, komora, która ma być skalibrowana, może być umieszczona w fantomie obok jonizacyjnej komory wzorca wtórnego, w tej samej wiązce. Pomiar porównuje się za pomocą średniej geometrycznej w celu określenia współczynnika kalibracji dla przyrządu kalibrowanego. Można również zastosować metodę, w której tylko jedna komora jest umieszczona w wiązce, a następnie druga jest umieszczana w tym samym miejscu i wykonywane są pomiary w celu przeprowadzenia kalibracji.

W przypadku audytu dla promieniowania elektronowego pomiary wykonuje się w materiale fantomowym WTe Solid Water i w zależności od jakości tego materiału (jego ekwiwalentności w stosunku do wody), należy uwzględnić współczynniki korekcyjne na materiał fantomu. Pomiary wykonywane są przy użyciu komory jonizacyjnej typu Roos lub NACP-02, umieszczonej w prowadnicy płyty WTe. Komora musi być umieszczona na głębokości z_{ref} , obliczonej dla wody i przeliczonej/przeskalowanej do materiału fantomu WTe zgodnie z poniższym wzorem [9]:

$$z_w = z_{pl} C_{pl} \text{ g cm}^{-2} (z_{pl} \text{ in g cm}^{-2}) \quad (1),$$

gdzie:

z_{pl} – głębokość w materiale ekwiwalentnym,

p_{pl} – gęstość materiału ekwiwalentnego,

C_{pl} – współczynnik skalujący głębokość, którego wartości są podane w poniższej tabeli (ryc. 1), pochodzącej z CoP TRS 398 IAEA (te wartości są podane w TRS 398 IAEA jako informacyjne):



TABLE 7.VI. VALUES FOR THE DEPTH-SCALING FACTOR c_{pl} , THE FLUENCE-SCALING FACTOR h_{pl} AND THE NOMINAL DENSITY ρ_{pl} FOR CERTAIN PLASTICS

Plastic phantom	c_{pl}	h_{pl}	ρ_{pl} ($g\ cm^{-3}$)
Solid water (WT1)	0.949	1.011	1.020
Solid water (RMI-457)	0.949	1.008 ^a	1.030
Plastic water	0.982	0.998 ^b	1.013
Virtual water	0.946	- ^c	1.030
PMMA	0.941	1.009	1.190
Clear polystyrene	0.922	1.026	1.060
White polystyrene ^d	0.922	1.019	1.060
A-150	0.948	- ^c	1.127

Ryc. 1 Tabela c_{pl} (depth-scaling factor) i h_{pl} (fluence-scaling factor)
Źródło: TRS398. IAEA, 2006

Najlepszą praktyką jest wyznaczenie c_{pl} i h_{pl} w ramach pomiarów odbywających się na potrzeby audytu, porównując pomiary wykonane w fantomie wodnym i w fantomie WTe na poszczególnych głębokościach. Aby określić dawkę pochłoniętą w wodzie na głębokości z_{ref} w warunkach fantomu WTe, komora musi być umieszczona na wyskalowanej głębokości referencyjnej $z_{ref,pl}$ w plastiku. Uzyskuje się to z z_{ref} w wodzie [9]:

$$z_{ref,pl} = z_{ref} / c_{pl} \quad g\ cm^{-2} \quad (z_{ref} \text{ in } g\ cm^{-2}) \quad (2)$$

Zastosowanie płyt WTe o grubości od 1 do 50 mm powinno umożliwiać zmianę głębokości położenia komory z rozdzielczością 1 mm, aby dopasować ją do wymagań jakości badanej wiązki. Gantry aparatu radioterapeutycznego powinno być w pozycji zapewniającej prostopadłe położenie wiązki promieniowania w stosunku do powierzchni fantomu. Ten sam układ stosowany jest do pomiaru jakości wiązki, mocy wyjściowej wiązki i kalibracji komór jonizacyjnych.

Oprócz skalowania głębokości, odczyt dozymetru $M_{Q,pl}$ na głębokości $z_{ref,pl}$ w plastiku należy przeskalować do równoważnego odczytu M_Q dla z_{ref} w wodzie [9]:

$$M_Q = M_{Q,pl} h_{pl} \quad (3)$$

Wartości współczynnika skalowania fluencji h_{pl} obciążają obliczenia dawki pochłoniętej w wodzie niepewnością ich wyznaczenia dla fantomów wykonanych z plastikowych materiałów ekwiwalentnych wodzie. Dlatego w przypadku wiązek elektronowych unika się tych fantomów do określenia dawki pochłoniętej. Stanowią jednak bardzo dobry materiał do pomiarów stałości i pomiarów porównawczych.

W przypadku wiązek elektronów, standardy postępowania dozymetrycznego są determinowane przez dwa CoP z 1996 [10] i 2003 roku [11]. Główne różnice między nimi związane są z faktem, że CoP z 1996 roku określa dawkę pochłoniętą w wodzie z kalibracji kerry powietrznej dla 2 MV lub Co-60 dla komory jonizacyjnej wzorca wtórnego NE2561/NE2611. Do przeliczenia dawki pochłoniętej w wodzie wymagana jest znajomość E_0 i E_z . Są one określane na podstawie pomiaru $R_{50,I/D}$. CoP z 2003 roku znacznie upraszcza procedurę, dostarczając kalibrację dla dawki pochłoniętej w wodzie dla komory jonizacyjnej, spójnej

metrologicznie z kalorymetrem stanowiącym pierwotny wzorzec dla terapii elektronowej [12]. Współczynnik kalibracji dla wzorca wtórnego jest podawany w zakresie jakości wiązki, określonej przez wskaźnik jakości $R_{50,D}$ dla krzywej dawki głębokościowej, który jest głębokością, na której dawka w wodzie spada do 50% maksimum dawki wzdłuż osi centralnej. Pomiary są wykonywane dla odległości $SSD = 100$ cm i pola wystarczająco dużego, aby wynik był niezależny od rozmiaru pola ze względu na wpływy elektronów rozproszonych na kolimatorze i/lub aplikatorze elektronowym (wymagany rozmiar pola rośnie wraz z energią). Generalnie zalecane jest, aby używać warunków pomiarów w wodzie, ale można je zrealizować na potrzeby audytu w fantomach stałych ekwiwalentnych wodzie przy użyciu komór Roosa lub NACP-02, z uwzględnieniem współczynnika skalującego [9]:

$$R_{50,ion} = R_{50,ion,pl} c_{pl} \quad g\ cm^{-2} \quad (R_{50,ion,pl} \text{ in } g\ cm^{-2}) \quad (4)$$

Należy jednak pamiętać, że rozdzielczość wyznaczenia R_{50} przy użyciu fantomów stałych jest determinowana grubością najcieńszej płytki oraz dokładnością wykonania płyt fantomu.

Moc dawki dla wiązki elektronowej (dawka pochłonięta przez wodę/MU) jest określana na podstawie łańcucha pomiarów z kalibracji wzorca wtórnego. Współczynniki kalibracji dawki pochłoniętej do wody podane są jako funkcja $R_{50,D}$ z kalibracji przeprowadzonej w NPL [13]. Zaleca się stosowanie płasko-równoległych komór jonizacyjnych do pomiaru krzywych dawki głębokiej, które zostaną wykorzystane do określenia kalibracji wiązki. Dawkę pochłoniętą należy określić w wodzie na obliczonej głębokości referencyjnej. O ile nie stwierdzono znaczącej różnicy pomiędzy wartością podaną przez ośrodek audytowany a wartością uzyskaną przez grupę audytującą dla $R_{50,D}$, to z_{ref} , wartość dostarczona przez ośrodek audytowany, może zostać również użyta podczas audytu dozymetrycznego.

Pomiary

Dane wstępne

Pomiary zostały wykonane zgodnie z obowiązującym protokołem pomiarowym, który zawiera wymagane instrukcje i dane



do przeprowadzenia audytu i pochodzące zarówno od strony audytowanej, jak i audytującej (wypełniane przed przyjazdem grupy audytującej – to pozwala na przygotowanie współczynników kalibracyjnych i korekcyjnych dla układu pomiarowego, które będą użyte w jednostce audytowanej). Protokół pozwala na wprowadzenie danych pomiarowych oraz zawiera podsumowanie w zakresie porównania wyników uzyskanych podczas audytu i audytowanych.

Przykładowe szczegóły dotyczące audytowanych wiązek elektronowych przedstawiono w poniższych tabelach (audytowane powinny być co najmniej trzy energie: minimalna używana klinicznie; 9 lub 10MeV i maksymalna używana klinicznie). Kliniczne pole elektronowe powinno być zaplanowane dla wybranej energii środkowej (ryc. 2).

Głębokość referencyjna pomiaru powinna znajdować się najbliższej obliczonej z $z_{ref} = 0.6 \cdot R_{50,D} - 0.1\text{cm}$ (zgodnie z CoP 2003). PDG dla z_{ref} jest wymagany do korekcji pomiarów na głębokości, dla której wiązki elektronowe dla poszczególnych energii są wykalibrowane tak, aby uzyskać 1cGy/MU (zwykle jest to $R_{100,D}$) (ryc. 3).

Przygotowanie planu dla wiązki elektronowej – pojedyncze pole terapeutyczne

Pojedyncze pole elektronowe powinno zostać zaplanowane zgodnie z obowiązującą procedurą w ośrodku audytowanym. Powinno być zaplanowane dla dawki 2.0 Gy, na głębokości 2.5 cm od powierzchni skóry, o wymiarach pola 5 x 7 cm zdefiniowanym dla SSD = standardowa odległość terapeutyczna dla ośrodka audytowanego + 5 cm. Wielkość pola na 50% profilu w odległości SSD nie musi być dokładnie 5 x 7 cm. Może się to zmieniać w granicach $\pm 1\text{cm}$ dla jednego lub obu krawędzi pola. Kryterium akceptowalności wymiarów tego pola – stosunek długości boków ≥ 1.3 . Plan powinien być wykonany dla środkowej energii ze zdefiniowanego zestawu audytowanych wiązek elektronowych. Wynikiem planowania powinno być uzyskanie liczby jednostek monitorowych, aby dostarczyć zaplanowaną dawkę, informacja o materiale bolusa i wymaganej grubości, aby 90% izodoza znajdowała się na 2.5 cm od powierzchni skóry. Jeżeli ośrodek audytowany nie posiada bolusa używanego klinicznie o wymaganej grubości, aby uzyskać powyżej opisane warunki rozkładu dawki, wtedy powinien zostać

Fill in the following details about the electron beams to be audited at the Host Centre:

Linac to be tested	Nominal Energy (MeV)	* $R_{100,D}$ (cm)	# $R_{50,D}$ (cm)	Reference Depth z_{ref} (cm)	* %DD(z_{ref}) at Reference Depth	R_p (cm)
LA4M2	6	1.40	2.49	1.4	99.99	3.09
	9	2.10	3.65	2.1	99.98	4.44
	16	3.31	6.72	3.9	99.25	8.08

* $R_{100,D}$ and %DD(z_{ref}) should be for a 10x10cm field
$R_{50,D}$ should be for a large field
 $\geq 10 \times 10\text{cm}$ for energies $\leq 16\text{MeV}$
 $\geq 15 \times 15\text{cm}$ for energies $> 16\text{MeV}$

Ryc. 2 Tabela danych dla wiązek elektronowych (ośrodek audytowany). Źródło: własne

Fill in the standard conditions used for Output measurements at Host Centre

SSD (cm)	Applicator Size (cm)		Field Size (cm)	
100.0	10.0	x	10.0	x

[Link to host centre protocol](#)

Fill in the Prescription Protocol used for external beam Electron Radiotherapy at Host Centre

Dose Prescribed to	Normal Treatment SSD
90.0 % isodose	100.0 cm

Ryc. 3 Tabela danych dla wiązek elektronowych (ośrodek audytowany). Źródło: własne

A1 Set-up details:

Beam Quality	Energy (MeV):	9
	$R_{50,D}$ (cm):	3.65

[link to Visitor's planned dose rdgs](#)

SSD to top of bolus (cm):	105.0
---------------------------	-------

[link to Summary of plan dose results](#)

Ideal 50% Field Size at Bolus Surface near to 5 x 7 cm	Actual FS	(cm):	5.99	x	Field shape:	Rectangle
		(cm):	7.98			

Bolus details:

For Energy, Field Size & SSD:	$R_{100,D}$ (cm):	2.13
	Deep $R_{50,D}$ (cm):	2.84
# Ideal H ₂ O equiv Bolus thickness req'd (cm):	0.34	
Type of Bolus:	Paranet gauze	
Actual H ₂ O equiv Bolus thickness used (cm):	0.30	
Actual linear thickness of bolus used (cm):		
$R_{100,D}$ below Phantom surface (cm):	1.83	

Bolus needed to give 90% at 2.5 cm deep in Phantom

Dose required:

Dose at 2.8cm deep (Gy):	2.000	to the	90.00	% Isodose *
--------------------------	-------	--------	-------	-------------

* Edit x% Isodose value as necessary

Prescription:

Dose prescribed (Gy):	2.000	to the	90.00	% Isodose
-----------------------	-------	--------	-------	-----------

Irradiation:

Number of Monitor Units:	249.8
--------------------------	-------

Ryc. 4 Tabela danych dla klinicznej wiązki elektronowej (ośrodek audytowany). Źródło: własne



użyty bolus o grubości spełniającej te wymagania najbliżej i liczba jednostek monitorowych powinna zostać obliczona dla dawki 2 Gy, dostarczonej na izodozie $x\%$, zdefiniowanej na 2.5 cm od powierzchni skóry. Ten sam bolus powinien być użyty podczas audytu przez jednostkę audytującą j (ryc. 4).

Pomiary dla wiązek elektronowych

Ośrodek audytowany musi wykonać pomiary mocy dawki dla audytowanych wiązek elektronowych przed i zaraz po zakończeniu pomiarów przez grupę audytującą. Oba zestawy pomiarowe będą porównane z wynikami jednostki audytującej. Ośrodek audytowany musi podać wszystkie szczegóły dotyczące układu pomiarowego, a zwłaszcza komory jonizacyjnej i elektrometru, w tym głębokość położenia punktu efektywnego od powierzchni wejściowego okna komory jonizacyjnej. Ponadto muszą być podane informacje o warunkach pomiarowych: temperatura, ciśnienie i współczynniki kalibracyjne (ND,w) i korekcyjne komory oraz wszelkie dodatkowe współczynniki korekcyjne wraz z podanym źródłem tych korekcji. Współczynniki kalibracyjne muszą być podane dla z_{ref} j (ryc. 5).

Pomiary na potrzeby potwierdzenia mocy dawki dla referencyjnych warunków pomiarowych powinny być wykonane dla 200 MU. Dla tych pomiarów moc dawki wyrażonej w Gy/100 MU dla R100,D jest obliczana w arkuszu protokołu pomiarowego po podaniu wszystkich wymaganych danych j (ryc. 6 i 7).

Ośrodek audytujący

Przygotowanie do audytu

Ośrodek audytujący musi wprowadzić do protokołu pomiarowego informacje o układzie pomiarowym (komora jonizacyjna, elektrometr, termometr i barometr, w przypadku barometru także jednostka pomiarowa – mmHg lub Bar), który będzie używany podczas audytu. Dla komory jonizacyjnej musi być podana głębokość efektywnego punktu pomiarowego, współczynniki kalibracyjne ND,w dla zakresu energii, zidentyfikowanego zakresem wartości R50,D (dane z ośrodka audytującego – wykres ND,w = f(R50,D)) i dla z_{ref} dla poszczególnych energii. Współczynniki kalibracyjne powinny być wyznaczone dla każdej

B2 Before Visitor's measurements (optional)

Chamber type: Roos		Electrometer type: SunNuclear PC Electrometer	
Chamber serial number:		Electrometer serial number:	
Distance from outside front face of Chamber to Effective Point of Measurement (cm): 0.13		Manufacturer and type of water equivalent material: Perspex	
Are Barometer Units mmHg? Y or N	N	or mbar?	y
Temperature = 20.80 °C		SSD (cm):	100.0
Pressure = 1000.75 mbar		Nominal Energy (MeV)	6 9 16
$f_{TP} = 1.0153$		Calibration factor at z_{ref}	0.0816 0.0801 0.0772
		Polarity correction	1.0000 1.0000 1.0000
		Water equivalent factor	1.0050 1.0040 0.9990
		Ion recombination factor	1.0083 1.0083 1.0083
		Any other corrections	1.0000 1.0000 1.0000

Ryc. 5 Tabela danych dla zestawu pomiarowego (ośrodek audytowany). Źródło: własne

B2 Before Visitor's measurements (optional)

Chamber type: Roos		Electrometer type: SunNuclear PC Electrometer	
Chamber serial number:		Electrometer serial number:	
Distance from outside front face of Chamber to Effective Point of Measurement (cm): 0.13		Manufacturer and type of water equivalent material: Perspex	
Are Barometer Units mmHg? Y or N	N	or mbar?	y
Temperature = 20.80 °C		SSD (cm):	100.0
Pressure = 1000.75 mbar		Nominal Energy (MeV)	6 9 16
$f_{TP} = 1.0153$		Calibration factor at z_{ref}	0.0816 0.0801 0.0772
		Polarity correction	1.0000 1.0000 1.0000
		Water equivalent factor	1.0050 1.0040 0.9990
		Ion recombination factor	1.0083 1.0083 1.0083
		Any other corrections	1.0000 1.0000 1.0000

Nominal Energy MeV	Field size cm	Effective meas depth cm	Build up required cm	Readings for 200MU			Average reading nC	Dose Gy
				Electrometer Units: nC				
6	10x10	1.4	1.3	23.7760	23.7920	23.7900	23.7860	1.9956
9	10x10	2.1	2.0	24.2460	24.2500	24.2380	24.2447	1.9959
16	10x10	3.9	3.8	25.1420	25.1440	25.1440	25.1433	1.9845

Nominal Energy MeV	Field size cm	Effective meas depth cm	Build up required cm	Host's %DD(z_{ref})	Output ($R_{100,D}$) before Audit
				%	Gy / 100mu
6	10x10	1.4	1.3	99.90	0.9988
9	10x10	2.1	2.0	99.90	0.9990
16	10x10	3.9	3.8	99.40	0.9983

Host is using Perspex for routine output, therefore PDD(z_{ref}) has been manually edited.

Ryc. 6 Tabela danych dla zestawu pomiarowego i wykonanych pomiarów dla warunków referencyjnych po audycie (ośrodek audytowany). Źródło: własne



B1 After Visitor's measurements (essential)

Chamber type:	Roos
Chamber serial number:	
Distance from outside front face of Chamber to Effective Point of	0.13

Electrometer type:	SunNuclear PC Electrometer
Electrometer serial number:	
Manufacturer and type of water equivalent	Perspex

Are Barometer Units mmHg? Y or N	N	or mbar?	y
-------------------------------------	---	----------	---

SSD (cm):	100.0
-----------	-------

Temperature =	21.00	°C
Pressure =	1002.92	mbar
f_{TP} =	1.0137	

Nominal Energy (MeV)	6	9	16
Calibration factor at z_{ref}	0.0816	0.0801	0.0772
Polarity correction	1.0000	1.0000	1.0000
Water equivalent factor	1.0050	1.0040	0.9990
Ion recombination factor	1.0083	1.0083	1.0083
Any other corrections	1.0000	1.0000	1.0000

[link to Summary of Dose at zref results](#)

Nominal Energy MeV	Field size cm	Effective meas depth cm	Build up required cm	Readings for 200MU			Average reading nC	Dose Gy
				Electrometer Units: nC				
6	10x10	1.4	1.3	23.8150	23.8060	23.8170	23.8127	1.9949
9	10x10	2.1	2.0	24.2940	24.2640	24.2770	24.2783	1.9957
16	10x10	3.9	3.8	25.1860	25.1850	25.1890	25.1867	1.9850

Nominal Energy MeV	Field size cm	Effective meas depth cm	Build up required cm	Host's %DD(z_{ref})	Output ($R_{100,D}$) after Audit
				%	Gy / 100mu
6	10x10	1.4	1.3	99.90	0.9984
9	10x10	2.1	2.0	99.90	0.9989
16	10x10	3.9	3.8	99.40	0.9985

Host is using Perspex for routine output, therefore PDD(z_{ref}) has been manually edited.

[link to Summary of Output results](#)

Nominal Energy MeV	Field size cm	Effective meas depth cm	Build up required cm	Av Dose	Host's %DD(z_{ref})	Average Output ($R_{100,D}$)
				Gy	%	Gy / 100mu
6	10x10	1.4	1.3	1.9952	99.90	0.9986
9	10x10	2.1	2.0	1.9958	99.90	0.9989
16	10x10	3.9	3.8	1.9848	99.40	0.9984

Ryc. 7 Tabela danych dla zestawu pomiarowego i wykonanych pomiarów dla warunków referencyjnych po audycie (ośrodek audytowany). Źródło: własne

energii wiązki elektronowej w ośrodku audytowanym i nie powinien zawierać współczynników korekcyjnych (np. współczynnik korekcyjny na rekombinację, efekt polaryzacji czy ekwiwalent wodny) j (ryc. 8).

Ośrodek audytujący powinien również przekazać dane dotyczące materiału fantomu stałego, który jest użyty podczas audytu dozymetrycznego oraz współczynników korekcyjnych na zmianę fluencji w materiale ekwiwalentnym – wodzie. Współczynniki korekcyjne h_m dla materiału fantomu stałego są wprowadzane dla zakresu energii wiązek elektronowych, wyrażonych średnią energią E_z (IPEMB 1996 CoP §D.5.4) (ryc. 9).

Pomiary

* weryfikacja $R_{50,D}$ dla wybranych do audytu energii elektronowych (warunki dużego pola – 20 x 20, SSD = 100 cm, co najmniej 10 cm materiału poniżej punktu pomiarowego na rozproszenie wsteczne) (ryc. 10).

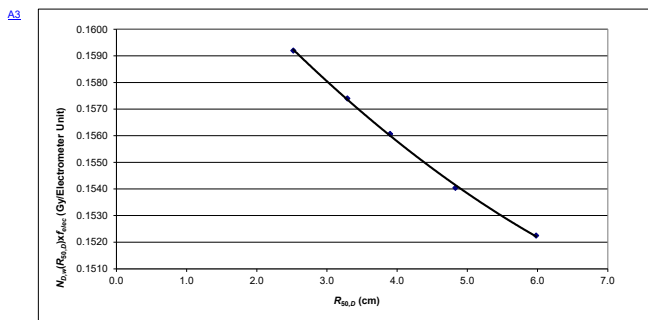
Pomiary powinny być wykonane w osi centralnej wiązki dla głębokości: $R_{100,I}$, $R_{100,I-1}$ mm i $R_{100,I+1}$ mm. Jeżeli najwyższa zmierzona wartość nie jest dla $R_{100,I}$, to należy wykonać następane pomiary, redukując lub dodając „build-up”, utrzymując SSD = 100, aż uzyska się głębokość pomiarową, dla której uzyskane wyniki pomiarowe są najwyższe (szczyt krzywej jonizacyjnej).

Chamber type:	NACP
Chamber serial no.:	
Distance from front face of chamber to Effective Point of Measurement (cm) (*):	0.06

(* effectively could be set 0.1 cm for water and WTT measurement conditions)

Electrometer type:	PTW Unidos E		
Electrometer serial no.:			
Electrometer Units:	nC		
Are Barometer Units mmHg? Y or N	N	or mbar?	Y

Nominal Energy (enter in order of ascending energy) (MeV)	$R_{50,D}$ (cm)	Calibration Factor Gy / nC	$N_{0,w}(R_{50,D}) \times f_{sec}$
6	2.5	0.1592	
8	3.3	0.1574	
10	3.9	0.1561	
12	4.8	0.1540	
15	6.0	0.1522	



Ryc. 8 Tabela współczynnika kalibracyjnego ND_w (ośrodek audytujący). Źródło: własne



A4 Details of Water Equivalent Material used by Visitor during Audit

Manufacturer:	Gammex/Water
Type no:	Solid Water Gammex /Water
Plastic:	WT1

PLEASE ENTER h_m VALUES FOR ALL ENERGIES LISTED (EVEN IF 1.000)
(This is to allow Lookup of values from table elsewhere in Worksheet)

A5 Fluence-ratio correction factor h_m values to be used

E_z MeV	h_m
1	1.013
2	1.012
3	1.011
4	1.010
5	1.009
6	1.008
8	1.006
10	1.004
12	1.002
14	1.000
16	1.000
18	1.000
20	1.000

Ryc. 9 Tabela współczynników h_m dla fantomu WT1 (ośrodek audytujący). Źródło: własne

BEAM QUALITY DETERMINATION: Finding peak of ionisation curve and verifying $R_{50,D}$ for Minimum Energy in a LARGE FIELD

B2a

Nominal energy (MeV)	6	Host's value for $R_{50,D}$ (cm)	1.40	Is measurement to be made in Water? Y or N	Y
E_z (MeV)	5.919	Host's value for $R_{50,D}$ (cm)	2.49		
Probable value for $R_{100,I}$ (cm)	1.40	Host's value for R_2 (cm)	3.09		

Effective depth	Effective depth z cm	Build up required cm	Electrometer Readings nC		Average reading nC	E_z MeV	H ₂ O eq corr h_m	Av Rdg x h_m nC	MU per reading (suggest 100)	SSD (cm) (suggest 100)
$R_{100,I} -1mm$	1.30	n/a	3.173	3.171	3.172	2.964	1.000	3.172	50	100.0
$R_{100,I}$	1.40	n/a	3.155	3.156	3.156	2.729	1.000	3.156		
$R_{100,I} +1mm$	1.50	n/a	3.119	3.117	3.118	2.522	1.000	3.118		
	0.00	n/a	0.000	0.000	0.000	5.919	1.000	0.000		
	0.00	n/a	0.000	0.000	0.000	5.919	1.000	0.000		

Use these rows if more readings are needed to find depth of max reading

$R_{100,I}$ (effective depth of max reading (cm)) 1.3 # $E_z(E_{z,2}/R_2)$ is interpolated from Table 3 of IPEM 1996 CoP

B3a

Expected $R_{50,I}$ (cm)	2.48	Reading at $R_{50,I} = 0.5 * \text{max. reading}$	1.586	h_m is returned from Table of h_m vs E_z values entered by Visitor
--------------------------	------	---	-------	--

Effective depth	Effective depth z cm	Build up required cm	Readings nC		Average reading nC	E_z MeV	H ₂ O eq corr h_m	Av Rdg x h_m nC	$E_0 = a + bR_{50,D} + cR_{50,D}^2$ where a = 0.656 b = 2.059 c = 0.022
expected $R_{50,I} -2mm$	2.30	n/a	1.827	1.827	1.827	1.182	1.000	1.827	
expected $R_{50,I}$	2.50	n/a	1.329	1.324	1.327	0.936	1.000	1.327	
expected $R_{50,I} +2mm$	2.70	n/a	0.833	0.831	0.832	0.740	1.000	0.832	
	0.00	n/a	0.000	0.000	0.000	5.919	1.000	0.000	
	0.00	n/a	0.000	0.000	0.000	5.919	1.000	0.000	

Use these rows if more readings are needed either side of expected $R_{50,I}$

Visitor's measured $R_{50,I}$ (cm)	2.40	Difference between Visitor's and Host's values for $R_{50,D}$ (mm)	-0.87	Agreement	v good
Visitor's value for $R_{50,D}$ (cm)	2.40				

Ryc. 10 Tabela wyników pomiarów – przykład dla 6 MeV, sprawdzenie jakości wiązki (ośrodek audytujący). Źródło: własne

$R_{50,I}$ jest obliczone z wartości dostarczonych przez ośrodek audytowany, w oparciu o zależność $R_{50,D} = 1.029 * R_{50,I} - 0.063$ cm. Dla tego samego układu pomiarowego, używanego dla $R_{100,I}$, należy wykonać pomiary na głębokościach: $R_{50,I}$, $R_{50,I}-2$ mm i $R_{50,I}+2$ mm. Jeżeli $0.5 * \text{maksymalna wartość}$ nie mieści się w zakresie wartości odczytów dla $R_{50,I}$, to należy rozszerzyć pomiary dla dodanych lub zredukowanych wartości głębokości, aż

do uzyskania powyższego. $R_{50,I}$ są obliczane z liniowej regresji i porównywane między ośrodkiem audytowanym a audytującym (wynik porównania powinien znaleźć się w 1 mm, a jeżeli ta różnica jest większa niż 2 mm, wtedy należy bezwzględnie ustalić przyczynę tej różnicy przed przystąpieniem do następnych pomiarów) (ryc. 11).

BEAM QUALITY DETERMINATION: Finding peak of ionisation curve and verifying $R_{50,D}$ for Medium Energy in a LARGE FIELD

B2b

Nominal energy (MeV)	9	Host's value for $R_{50,D}$ (cm)	2.10	Is measurement to be made in Water? Y or N	Y
E_z (MeV)	8.464	Host's value for $R_{50,D}$ (cm)	3.65		
Probable value for $R_{100,I}$ (cm)	2.00	Host's value for R_2 (cm)	4.44		

Effective depth	Effective depth z cm	Build up required cm	Readings nC		Average reading nC	E_z MeV	H ₂ O eq corr h_m	Av Rdg x h_m nC	MU per reading (suggest 100)	SSD (cm) (suggest 100)
$R_{100,I} -1mm$	1.90	n/a	3.126	3.123	3.125	4.147	1.000	3.125	50	100.0
$R_{100,I}$	2.00	n/a	3.127	3.126	3.127	3.914	1.000	3.127		
$R_{100,I} +1mm$	2.10	n/a	3.119	3.120	3.120	3.706	1.000	3.120		
	0.00	n/a	0.000	0.000	0.000	8.464	1.000	0.000		
	0.00	n/a	0.000	0.000	0.000	8.464	1.000	0.000		

Use these rows if more readings are needed to find depth of max reading

$R_{100,I}$ (effective depth of max reading (cm)) 2.0 Reading at $R_{50,I} = 0.5 * \text{max. reading}$ 1.563

B3b

Expected $R_{50,I}$ (cm)	3.61	Reading at $R_{50,I} = 0.5 * \text{max. reading}$	1.563
--------------------------	------	---	-------

Effective depth	Effective depth z cm	Build up required cm	Readings nC		Average reading nC	E_z MeV	H ₂ O eq corr h_m	Av Rdg x h_m nC	$E_0 = a + bR_{50,D} + cR_{50,D}^2$ where a = 0.656 b = 2.059 c = 0.022
expected $R_{50,I} -2mm$	3.40	n/a	1.834	1.828	1.831	1.546	1.000	1.831	
expected $R_{50,I}$	3.60	n/a	1.460	1.458	1.459	1.308	1.000	1.459	
expected $R_{50,I} +2mm$	3.80	n/a	1.083	1.082	1.083	1.102	1.000	1.083	
	0.00	n/a	0.000	0.000	0.000	8.464	1.000	0.000	
	0.00	n/a	0.000	0.000	0.000	8.464	1.000	0.000	

Use these rows if more readings are needed either side of expected $R_{50,I}$

Visitor's measured $R_{50,I}$ (cm)	3.54	Difference between Visitor's and Host's values for $R_{50,D}$ (mm)	-0.67	Agreement	v good
Visitor's value for $R_{50,D}$ (cm)	3.58				

Ryc. 11 Tabela wyników pomiarów – przykład dla 9 MeV, sprawdzenie jakości wiązki (ośrodek audytujący). Źródło: własne



Pomiar % dawki głębokiej (%DG) dla zref, dla pola 10 x 10, SSD = 100 cm

Układ pomiarowy dla tego pomiaru wymaga użycia standardowego pola i SSD dla pomiaru mocy dawki, z minimum 10 cm materiału fantomowego dla zapewnienia warunków pełnego rozproszenia. Pomiaru powinny być wykonane w osi centralnej wiązki dla głębokości: R100,I, R100,I-1 mm i R100,I+1 mm. Wyniki pomiaru są przeliczane do relatywnej dawki poprzez uwzględnienie *Stopping Power Ratio* z CoP. Jeżeli najwyższa zmierzona wartość nie jest dla R100,I, to należy wykonać następne pomiary, redukując lub dodając „build-up”, utrzymując SSD = 100, aż uzyska się głębokość pomiarową, dla której uzyskane wyniki pomiarowe są najwyższe (szczyt krzywej jonizacyjnej). Dla tego samego układu pomiarowego należy zmierzyć wskazania dla zref i stąd zostanie obliczona wartość %DG(zref). Różnica między ośrodkami powinna znajdować się w granicy 1%, a w przypadku różnicy większej niż 2% należy znaleźć przyczynę takiego wyniku porównania.

Pomiary współczynnika korekcyjnego na rekombinację na głębokości zref, pola 10.0 x 10.0 cm, SSD = 100.0 cm (ryc. 12)

Pomiary należy wykonać na głębokości zref = 0.6 x R50,D - 0.1 cm, używając wartości ośrodka audytującego R50,D dla komory jonizacyjnej zasilanej pełnym napięciem polaryzującym i zasilanej napięciem V/n, gdzie n = 4 lub 5, w zależności od elektrometru. Współczynniki są obliczane z zależności dla techniki dwunapięciowej [9].

Pomiar dawki zaabsorbowanej na głębokości zref, pole 10 x 10 cm, SSD = 100 cm (ryc. 13)

Pomiar temperatury i ciśnienia powinien być wykonany, używając termometru z ośrodka audytującego i barometru z ośrodka audytowanego lub audytującego w zależności od dostępności. Pomiaru dawki powinny być wykonane na głębokości zref, dla 200 MU. Wszystkie współczynniki kalibracyjne i korekcyjne są obliczane w arkuszu raportu audytowego. Dla efektu polaryzacyjnego przyjęta wartość współczynnika korekcyjnego = 1.0.

Obliczenie mocy dawki dla warunków referencyjnych (ryc. 14)

Moc dawki na głębokości R100,D dla każdej energii jest obliczana z dawki mierzonej na zref i skorygowanej przez PDG dla zref, zmierzonej przez ośrodek audytujący.

Pomiar dla zaplanowanego pola klinicznego (ryc. 15)

Pomiary dla zaplanowanego elektronowego pola klinicznego są wykonywane w warunkach opisanych powyżej. *Stopping Power Ratio* dla R50,D zaplanowanego pola i na głębokościach zref, R100,D i 2.5 cm są obliczane z interpolacji. Pomiary należy wykonać dla warunków określonych przez ośrodek audytowany – energia, wielkość pola, bolus, SSD i liczba jednostek monitorowych dla każdej z głębokości R100,D i R90,D. Dawki mierzone przez ośrodek audytujący na głębokości R100,D i 2.5 cm są obliczane i porównywane z oczekiwanymi wartościami.

OUTPUT DETERMINATION: Measuring ion recombination factors at z_{ref} in a 10.0 x 10.0 cm Field					
Voltage V applied to chamber = 200.00 volts		SSD (cm) [as used by Host for Outputs] 100.0			
Lower Voltage V/n applied = 50.00 volts (where n = 4 or 5)					
Energy/ MeV	Readings with chamber at V		Readings with chamber at V/n		f_{ion}
6	3.049	3.043	2.973	2.956	1.0092
9	3.096	3.097	3.007	2.997	1.0105
16	3.177	3.177	3.065	3.060	1.0125

Ryc. 12 Tabela wyników pomiarów – pomiar współczynnika rekombinacyjnego (ośrodek audytujący). Źródło: własne

OUTPUT DETERMINATION: Measuring electron Absorbed Dose to Water at z_{ref} in a 10.0 x 10.0 cm Field					
Temperature = 20.20 °C					100.0 cm SSD
Pressure = 999.36 mbar					
$f_{TP} = 1.0146$					Is measurement in Water? Y or N Y
Energy MeV		6	9	16	
$N_{D,w}(R_{50,D}) \times f_{ion}$ Gy / nC		0.1593	0.1565	0.1515	
Monitor Units delivered		200	200	200	

Determination of fluence correction:

E_0	Depth	Water equiv depth z	E_2	H ₂ O eq corr h_{20}
MeV	cm	cm	MeV	
5.919	z_{ref}	1.3	2.864	1.000
8.464	z_{ref}	2.0	3.810	1.000
15.486	z_{ref}	3.9	4.974	1.000

SSD (cm) [as used by Host for Outputs] 100.0

Nominal Energy	Visitor's value for $R_{50,D}$	Effective depth z_{ref}	Build up required	200MU Readings	Mean rdg M_{raw}	f_{TP}	f_{ion}	f_{pol}	H ₂ O eq corr h_{20}	$f_{ion} \times N_{D,w}(R_{50,D})$ Gy / nC	Dose / 200MU $D_w(z_{ref,w})$ Gy
6	2.40	1.3	1.3	12.210 12.200 12.200	12.203	1.0146	1.0092	1.0000	1.000	0.1593	1.9899
9	3.58	2.0	2.0	12.430 12.400 12.400	12.410	1.0146	1.0105	1.0000	1.000	0.1565	1.9917
16	6.68	3.9	3.8	12.700 12.700 12.700	12.700	1.0146	1.0125	1.0000	1.000	0.1515	1.9760

Ryc. 13 Tabela wyników pomiarów – pomiar wydajności dla warunków referencyjnych na głębokości zref (ośrodek audytujący). Źródło: własne

OUTPUT DETERMINATION: Calculating electron Outputs at $R_{100,D}$ in a 10.0 x 10.0 cm Field					
Nominal Energy		Dose Measured for 200MU $D_w(R_{ref,w})$ Gy	Depth Dose Correction 100 / %DD(z_{ref})	Monitor Unit Correction	Output ($R_{100,D}$) Gy / 100MU
MeV					
6		1.9899	100 / 100.13	100 / 200	0.9937
9		1.9917	100 / 99.87	100 / 200	0.9971
16		1.9760	100 / 99.20	100 / 200	0.9960

Ryc. 14 Tabela wyników pomiarów – pomiar wydajności dla warunków referencyjnych na głębokości R100 (ośrodek audytujący). Źródło: własne



PLANNED DOSE MEASUREMENT: Measuring dose given by planned treatment

[Link to host's treatment plan details - these must be filled in before continuing](#)

B9 Set-up details:

Beam Quality	Energy (MeV):	9
	R _{50,D} (cm):	3.65

SSD to top surface of bolus (cm):	105.0
-----------------------------------	-------

50% Field size at Bolus Surface:	5.99 (cm)	Field shape:	Rectangle
	x		
	7.98 (cm)		

Bolus details:

For Energy, Field Size & SSD:	R _{100,D} (cm):	2.1	
	Deep R _{50,D} (cm):	2.8	
	# Ideal H ₂ O equiv Bolus thickness req'd (cm):	0.3	# Bolus needed to give 90% at 2.5 cm deep in Phantom
Type of bolus used (cm):	Paranel gauze		
	# Actual H ₂ O equiv Bolus thickness used (cm):	0.3	
	Actual linear thickness of bolus used (cm):	0.0	
	R _{100,D} below Phantom surface (cm):	1.8	

Dose required:

Dose at 2.5cm deep (Gy):	2.000	to the	90.00	% Isodose
--------------------------	-------	--------	-------	-----------

Prescription:

Dose prescribed (Gy):	2.000	to the	90.00	% Isodose
-----------------------	-------	--------	-------	-----------

Irradiation:

Number of Monitor Units to be given:	250
--------------------------------------	-----

Determination of Stopping Powers and fluence correction:

[Link to Summary of planned field results](#)

B10

E ₀ MeV	Depth cm	Water equiv depth z cm	E _z MeV	H ₂ O eq corr h _m	s _{wat} (z)
8.464	z _{ref}	2.0	3.914		1.0545
	R _{100,D}	2.0	3.914	1.010	1.0545
	2.7 cm in phantom	2.6	2.738	1.011	1.0711

Is measurement in Water?	N
Temp =	17.30 °C
Pressure =	1001.70 mbar
f _{TP} =	1.0022

B11

Measurement depth z cm	Water equiv thicknesses		Readings (for 250 MU) nC	Average reading nC	f _{TP}	* f _{ion}	* f _{pol}	f _{elec} x N _{D,w} (R _{50,D}) Gy / nC	s _{wat} (z) s _{wat} (z _{ref})	h _m	Dose Gy
	Bolus on top of Phantom cm	Build up req'd (under bolus) cm (*)									
R _{100,D}	0.3	1.8	13.580	13.580	1.0022	1.0105	1.0000	0.1565	1.0000	1.0100	2.1744
			13.580								
2.7	0.3	2.3	12.660	12.660	1.0022	1.0105	1.0000	0.1565	1.0158	1.0110	2.0612
			12.660								

* values assumed to be same as for Output measurement

(*) 1.7 + chamber wall + 0.3 bolus = 2.1

(*) 2.3 + chamber wall + 0.3 bolus = 2.7

Ryc. 15 Tabela wyników pomiarów – pomiar dla warunków zaplanowanego klinicznego pola elektronowego (ośrodek audytyjny). Źródło: własne

Na potrzeby tego audytu dodatkowo zweryfikowano dozymetrycznie poniższe współczynniki (mimo posiadanych danych stabelaryzowanych), aby określić ich wpływ na ostateczne wyniki audytu i na ile dane pochodzące z publikacji wprowadzają niepewność tego porównania.

A. Verifying the h_m factors:

Calculated ratio for water and WT1 measurements/dose - verification h_m

	9MeV, 10x10, SSD=100, measurement depth 2.1cm		f _{TP}	OP per 200MU	
WT 1	12.35	12.33	1.0022	1.9563	
water	12.35	12.39	1.0146	1.9878	
			ratio (water/WT1)		1.016
			hm from table		1.007
			Diff		-0.90%

- The OP measurement 9MeV (per 200MU) = 1.9878 Gy in water at 2.1 cm, field size 10x10, SSD=100 cm
- The OP measurement 9MeV (per 200MU) = 1.9563 Gy in WT1 (Gammex solid water phantom) at 2.1 cm, field size 10x10, SSD=100 cm (2.0 cm solid water as build up and 0.1 cm the chamber entrance wall material):
 - readings: 12.35, 12.33
 - O/P calculated for WT1 and water using h_m= 1m for calculation purpose
 - therefore, the calculated h_m for the solid water = 1.9878/ 1.9563 = 1.016 (0.9% diff from the tabulated value of h_m=1.007)

Ryc. 16 Tabela wyników pomiarów – weryfikacja współczynnika h_m między wartościami pochodzącymi z literatury a pomiarem (ośrodek audytyjny). Źródło: własne

B. Verifying host extended FSD factors

The table shows the O/P and reading for the 5.99x7.98cm 9MeV at SSD=105cm at R100,D

Measurement depth z cm	Water equiv thicknesses		Readings (for 250 MU) nC	Average reading nC	f _{TP}	* f _{ion}	* f _{pol}	f _{elec} x N _{D,w} (R _{50,D}) Gy / nC	s _{wat} (z) s _{wat} (z _{ref})	h _m	Dose Gy
	Bolus on top of Phantom cm	Build up req'd (under bolus) cm (*)									
R _{100,D}	0.3	1.8	13.580	13.580	1.0022	1.0105	1.0000	0.1565	1.0000	1.0100	2.1744
			13.580								
2.7	0.3	2.3	12.660	12.660	1.0022	1.0105	1.0000	0.1565	1.0158	1.0110	2.0612
			12.660								

* values assumed to be same as for Output measurement

(*) 1.7 + chamber wall + 0.3 bolus = 2.1

(*) 2.3 + chamber wall + 0.3 bolus = 2.7

- Calculated factor for extended FSD (from 100cm to 105cm in solid water):

$$SOF = \frac{Dose(cut - out) / (IF \times MU) \text{ at } SSD = 105 \text{ cm}}{Dose(10 \times 10) / MU \text{ at } SSD = 100 \text{ cm}}$$

$$SOF = \frac{(2.168 / (0.9955 \times 250))}{1.970 / 200} = 0.884$$

- therefore, the calculated SOF is 0.884 (-1.1% diff from the host value of SOF=0.894)

Ryc. 17 Tabela wyników pomiarów – weryfikacja współczynnika korekcyjnego na inną odległość SSD niż 100 cm (ośrodek audytyjny). Źródło: własne



C. Correction for WT1: Cpl and PDD. Verifying the prescribed MU calculation.

Correction PDD for WT1 phantom measurement conditions

z(WT1) (cm)	cpl (cm)	z(weq)=z(WT1)+cpl (cm)
2.3	0.949	2.2

Total depth taking into account cpl correction (only for WT1) = water eq z-bolus-chamber wall

z(weq)=z(WT1)+cpl (cm)	bolus (cm)	chamber entrance wall (cm)	Total z(weq)
2.2	0.3	0.1	2.6

PDD for total z(weq) taken from audit PDD measurements for the planned out out and setup

PDD Total z(weq)
94.8

Calculated dose at total z(w) (dose normalisation for the planned treatment 2.0Gy at 90% isodose, 2.8 cm)

Calc dose at z(weq) Gy	Measured dose Gy	Diff	calculated Dmax Gy	measured Dmax Gy	Diff
2.105	2.053	-2.45%	2.222	2.166	-2.44%

- Cpl correction has been introduced to calculations done only for the WT1 phantom slab. It means the bolus and chamber entrance wall have been treated in calculations as equivalent of water.
- Cpl = 0.949 for WT1 (reference IAEA TRS 398).
- z(WT1) = 2.3 cm => z(weq) = 2.2 cm.
- Total z(weq) = 2.6 cm and PDD = 94.8% for this depth, taken from the PDD curve measured on the audit day for the planned field.
- Calculated dose for the planned field for z(weq) depth = 2.105Gy and Dmax = 2.222Gy
- Measured dose is 2.053Gy (-2.5% diff from the planned dose) and 2.166 Gy (-2.4% from the planned field) respectively.
- Uncertainty of assessing PDD around of 90% of Dmax for each 1 mm is ~2%, (the thinnest WT1 slab is 1mm).

Ryc. 18 Tabela danych – obliczenia z uwzględnieniem korekcy na cpl i PDG dla fantomu WT1 (osrodek audytujący). Źródło: własne

Podsumowanie

Ostateczne wyniki audytu wykazały zgodność pomiędzy pomiarami ośrodka audytowanego i audytującego na wymaganym poziomie tolerancji. Przeprowadzony audyt pozwolił na potwierdzenie, że w zakresie wiązek elektronowych istnieje spójność i zgodność dozymetryczna, pozwalająca na dopuszczenie ich do użytku klinicznego (patrz na poniższą tabelę podsumowującą wyniki) (ryc. 19).

Summary and Results Comparison						Comments
Verification of $R_{50,D}$						Appendix attached to the report
Link to results						
Nominal energy (MeV)	$R_{50,D}$ (cm)		Difference (cm)		Difference (%)	
	Host's value	Visitor's value				
6	2.49	2.40	-0.09	-3.5		
9	3.65	3.58	-0.07	-1.8		
16	6.72	6.68	-0.04	-0.6		
Electron outputs, 10x10 field, 200mu, 100.0 cm SSD						
Link to Host's Dose at zref. results			Link to Visitor's Dose at zref. results			
Nominal energy (MeV)	200mu Dose at z_{ref} (Gy)		Difference (%)			
	Host's value	Visitor's value				
6	1.9952	1.9899	-0.27			
9	1.9958	1.9917	-0.21			
16	1.9848	1.9780	-0.44			
Link to Host's Output results			Link to Visitor's Output results			
Nominal energy (MeV)	Output at $R_{100,D}$ (Gy/100mu)		Difference (%)			
	Host's value	Visitor's value				
6	0.9986	0.9937	-0.49			
9	0.9969	0.9971	-0.18			
16	0.9984	0.9960	-0.24			
Measuring dose given by planned treatment						
Link to Host's planned field details			Link to Visitor's planned field results			
Nominal Energy MeV	Field size and shape	SSD to top of bolus cm	Monitor units	Measurement depth cm	Dose (Gy)	
	cm x cm				Planned	# Visitor's value
9	5.99 x 7.98 Rectangle	105	250	$R_{100,D}$ 2.7 cm	2.222	2.1807
					2.000	2.0672
						%
						-1.87
						3.36
# Measured values corrected for daily variation in output.						
Attempts should be made to resolve discrepancies between the host and visiting centre's results if they are not within the following tolerances:						
Electron output: Host and Visiting centre within 2%						
Dose in planned treatment: Host and Visiting centre within 5%						

Ryc. 19 Tabela podsumowująca wyniki audytu (tabela w raporcie końcowym została uzupełniona o appendix uwzględniający dodatkowe korekcy na wyznaczenia hm, cpl, PDG i korekcy na SSD). Źródło: własne