

Weryfikacja dawki i czasu napromieniania w systemie obliczeniowym RadCalc

Mariusz Wrotniak
Zakład Fizyki Medycznej
WSS Rzeszów

1. Wprowadzenie
2. RadCalc okiem użytkownika
3. Materiały i metody
4. Wyniki
5. Wnioski

W radioterapii, jednostki monitorowe MU niezbędne do realizacji planu leczenia są obliczane za pomocą komputerowego systemu planowania leczenia TPS.

Dokładność wykonanych obliczeń wpływa na dawkę otrzymywaną przez pacjenta. Dlatego istotną częścią zapewnienia jakości jest zweryfikowanie obliczonej liczby MU w celu skorygowania ewentualnych błędów przed rozpoczęciem leczenia.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia
z dnia 18 lutego 2011 roku
w sprawie warunków bezpiecznego stosowania
promieniowania jonizującego dla wszystkich
rodzajów ekspozycji medycznej

Rozdział 6: Radioterapia

§ 38

**„Dawka w planie leczenia powinna być
zweryfikowana przez niezależne obliczenia lub
pomiar”.**

Według zaleceń ICRU dawka otrzymana przez pacjenta nie powinna różnić się o więcej niż $\pm 5\%$ od dawki przepisanej.

Ze względu na to, że radioterapia jest procesem wieloetapowym i wiele czynników ma wpływ na dawkę otrzymaną przez pacjenta, dokładność lepsza niż $\pm 3\%$ powinna być wymagana na każdym z tych etapów w celu spełnienia zaleceń ICRU.

Celem pracy było sprawdzenie programu RadCalc pod kątem jego zastosowania do weryfikacji planów leczenia w Zakładzie Fizyki Medycznej w Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym w Rzeszowie.

W badaniu tym dokonano porównania liczby jednostek monitorowych obliczonych w systemie planowania leczenia Eclipse (wersja 8.6) i niezależnym programem RadCalc (wersja 6.2). Dodatkowo porównano również dawki w punkcie referencyjnym. Otrzymane wyniki przeanalizowano w zależności od lokalizacji obszaru napromieniania.

RadCalc – dane wejściowe

Dla każdej energii:

- moc dawki w warunkach referencyjnych $(D/MU)_{\text{ref}}$
- PDG (lub TPR) oraz profile dla różnych wielkości pól i głębokości
- Output Factors jako Total Scatter Factor Sc_p lub osobno Collimator Scatter Factor Sc i Phantom Scatter Factor Sp
- Współczynniki transmisyjne: MLC, szczęki, blok
- Współczynniki klinów, płytek, kompensatorów

Dane mogą pochodzić bezpośrednio z pomiaru lub mogą zostać wyeksportowane z systemu planowania leczenia.

RadCalc – weryfikacja czasu napromieniania

- weryfikacja odbywa się praktycznie automatycznie w oparciu o dane zawarte w pliku DICOM (brak informacji o PSSD i ICF)
- weryfikacja odbywa się w oparciu o punkt referencyjny
- lokalizacja punktu ma istotny wpływ na jakość obliczeń:
 - w jednorodnym obszarze gęstości (punkt nie powinien się znajdować na skraju obszarów o dużej niejednorodności)
 - bez wysokich gradientów dawki
 - możliwie jak najdalej od krawędzi pola

RadCalc – weryfikacja czasu napromieniania

RadCalc – Wojewodzki Szpital Specjalistyczny

File Window Help

Wojewodzki Szpital Specjalistyczny Login/Logout Previous Next Open Save Print Compute All Beams Re-Do Comments Approve Import Export Help

etap1 wer (Photon) etap1 wer

Photon Calculation

Beam ID: 1 Beam Description: 1 Inhomogeneity Corrections MU: 55 Plan MU: 56 % Diff: -1.8%

Prescriptions Photon Beams MLC Data Points & Off Axis Assistance Block Entry Regions of Interest

Prescription Information

Prescription Name	pluco_11a
Machine Name	Clinac2
Energy Name	6X
Dose Per Treatment (cGy)	53
Isodose Line At Calc Pt (%)	102.9%
Dose at Calc Point (cGy)	54.18

Beam Setup

Gantry Mode Arc?	No
Gantry Angle	0.0
Collimator Angle	0.0
Couch Angle	0.0
X Jaws Mode Asym?	Yes
X1	6.20
X2	8.84
Y Jaws Mode Asym?	Yes
Y1	4.84
Y2	4.54
SSD at Calc Pt (cm)	88.42
SSD at Isocenter (cm)	88.42
Use Bolus?	No
Depth of Treat. (cm)	11.58
Inhomogeneity Correction Method	EQUIV PATH with FSS
Equivalent Path Length	5.67
Select IsoCenter	RC_pref
Select Calc Pt	RC_pref

Computation

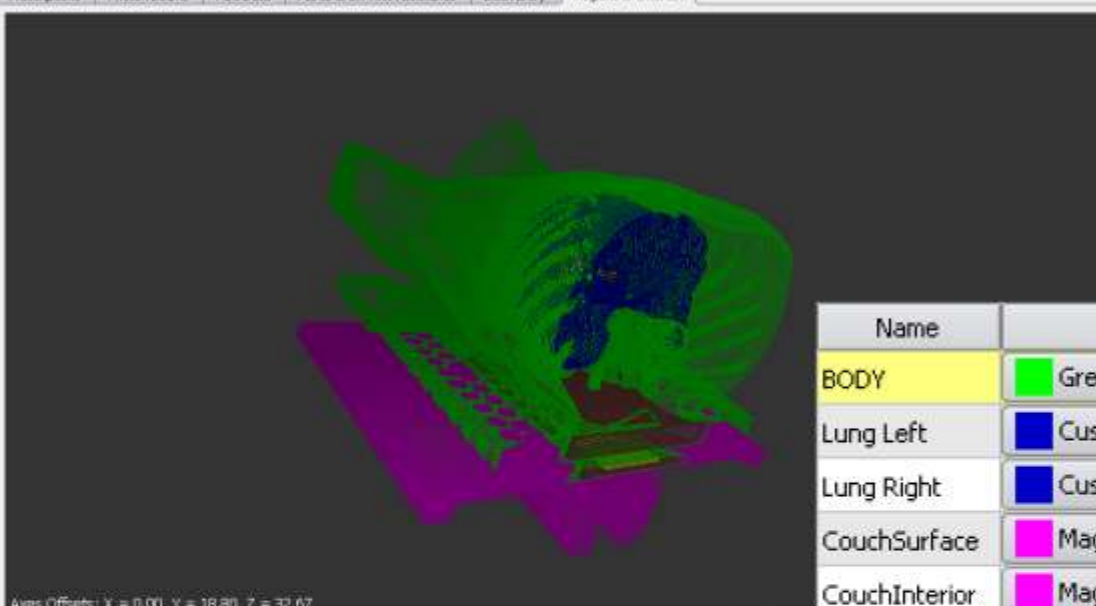
Wedge Factor	1.000
Attenuator Factor	1.000
Equivalent Square at Isocenter	11.55
Sc	1.004
Blocked Equiv. Square @ Point	~10.51
Inverse Square Factor	1.000
Scatter (TPR x Sp)	0.163
Primary (TPR x Sp) x OAF	0.630
Inhomogeneity Correction	1.201
Calib. at Ref. (cGy/MU)	1.0213
Dose Per MU (cGy/MU)	0.9764
Monitor Units	55
Plan Monitor Units	56
Percent Difference (%)	-1.8%

Beam Modifiers

Wedge Name	NONE
Wedge Angle (deg)	Fixed
Attenuator Name	NONE
Use Compensator?	No
Block Correction Method	Clarkson

RadCalc – obszary zainteresowania

Prescriptions Photon Beams MLC Data Points & Off Axis Assistance Block Entry Regions of Interest



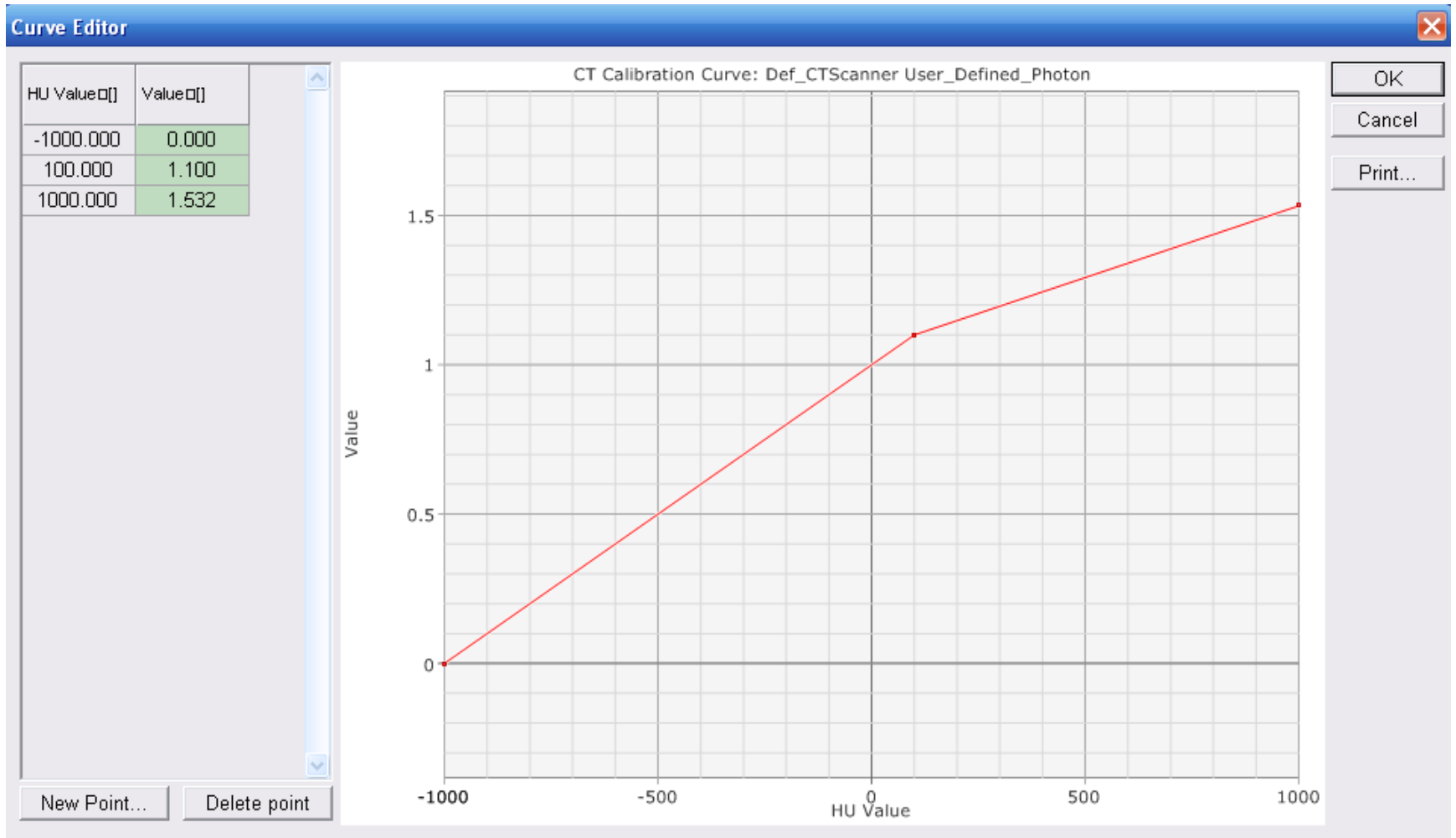
Axis Offsets: X = 0.00, Y = 18.80, Z = 32.67

Regions of Interest

Name	Color	Density	Display
BODY	Green	1.000	Yes
Lung Left	Custom...	0.200	Yes
Lung Right	Custom...	0.200	Yes
CouchSurface	Magenta	0.700	Yes
CouchInterior	Magenta	0.000	Yes
CouchRailLeft	Magenta	1.150	Yes
CouchGrid	Magenta	0.000	Yes
CouchRailRight	Magenta	1.150	Yes
tchawica	Custom...	0.100	Yes
kosci	Green	1.290	Yes
plytka	Custom...	1.240	Yes
breast-board	Custom...	0.100	Yes

Points (210 Total)

	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	-1.37	39.53	11.37
2	-0.98	39.56	11.37
3	-0.59	39.61	11.37
4	-0.19	39.64	11.37
5	0.19	39.59	11.37
6	0.42	39.52	11.37
7	0.78	39.37	11.37
8	0.98	39.24	11.37
9	1.17	39.11	11.37
10	1.42	38.93	11.37
11	1.64	38.74	11.37
12	1.83	38.54	11.37
13	2.03	38.35	11.37
14	2.23	38.15	11.37

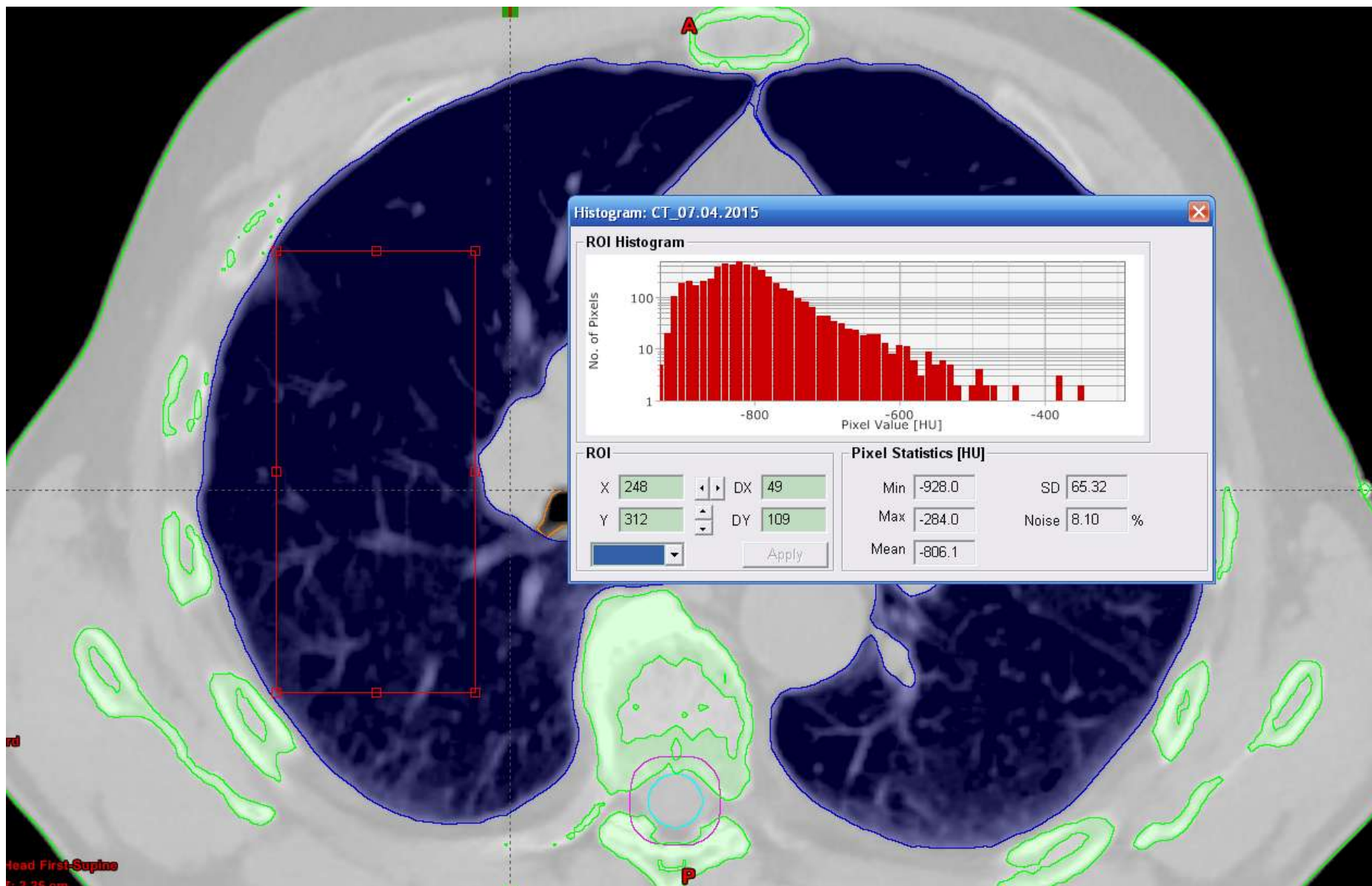


$$\rho = 0,001 \times HU + 1$$

$$dla HU \leq 100$$

$$\rho = 0,00048 \times HU + 1,052$$

$$dla HU > 100$$



Head First-Supine
2.25 cm

RadCalc – punkty referencyjne

Photon Calculation

etap1 wer

Inhomogeneity Corrections

Beam: 4 MU: 99 Plan MU: 98 % Diff: 1.0%

Prescriptions

Photon Beams

MLC Data

Points & Off Axis Assistance

Block Entry

Regions of Interest

Calculation Points

☒ Enter 3D Coordinates for Points?

	Name	Color	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Dose (cGy)	RTP Dose (cGy)	Dose or % Diff.
1	PTV	Red	-3.54	26.29	30.87	209.27	200.00	4.6%
2	RC_pref	Green	-3.62	25.78	32.03	205.67	205.89	-0.1%

☐ Normalize to Dose Per Fraction? cGy

Beam Data for RC_pref

	Beam Desc.	Depth	Equiv. Path	SSD	OADx	OADz	Dose	RTP Dose	Dose or % Diff.
1	1	11.58	5.67	88.42	0.00	0.00	55.10	54.18	1.7%
2	2	16.95	13.75	83.05	0.00	0.00	21.03	21.67	-3.0%
3	3	21.72	15.32	78.28	0.00	0.00	18.64	18.96	-1.7%
4	4	14.10	10.25	85.90	0.00	0.00	72.11	73.14	-1.4%
5	5	10.46	6.19	89.54	0.00	0.00	38.80	37.93	2.3%

Display

Mag Factor 1.00


The doses for the currently selected beam will automatically be updated whenever a value is changed in the beam spreadsheet.

RadCalc – poziomy reagowania

Photon MU Calculation Options

Institution Setup - Photon MU Calculation Options









General **Dose Action Level Options** **Block Correction Method Preferences**

☒ Use Dose Action Levels  Set Color for Acceptable Values...

Low Dose Cutoff Value (cGy)

Small Field Cutoff Value (cm):

Low Density Cutoff Ratio:

	Action Level Description	Disagreement Amount	Display Color
1	Action level for low dose values (cGy)	2.0	 Set Color...
2	Action level for IMRT calculations (%)	5.0%	 Set Color...
3	Action level for Wedge calculations (%)	4.5%	 Set Color...
4	Action level for off axis calculations (%)	4.5%	 Set Color...
5	Action level for small field calculations (%)	5.0%	 Set Color...
6	Action level for large field calculations (%)	3.5%	 Set Color...
7	Action level for low density calculations (%)	5.0%	 Set Color...
8	Action level for total point dose calculations (%)	5.0%	 Set Color...

RadCalc – konfiguracja raportu

Regions of Interest

Beam Set

Gantry Mode

Gantry Angle

Collimator Angle

Print Calculation

Select what you would like to print

☒ Print MU Calculation Sheet

☐ Spreadsheet Layout

☒ Visual Layout

☐ Print Dose Action Level information

☐ Print One Beam Per Page

☐ Enter Scale Factor for BEV

Restrict the printout so that only beams for the selected prescription are printed?

☐ Yes ☒ No

Additional Printouts

☐ Print BEV page(s)

☒ Print Point Doses

☐ Print MU for all machines and energies

☐ Print only matching energies

☐ Print Regions of Interest

☐ Print Treatment Chart

Select Beams to Print

Beam List

☒ 1 (1)

☒ 2 (2)

☒ 3 (3)

☒ 4 (4)

☒ 5 (5)

Checked beams will be printed.

Computation

Wedge Factor

Attenuator Factor

Equivalent Square at Is

Sc

Blocked Equiv. Square (

Inverse Square Factor

Select Points to Print

Calculation Point List

☐ PTV

☒ RC_pref

Checked points will be printed.

All Beams and 1 Point(s) will be printed

☐ Automatically send PDF printout to:

☐ Print To File

Write Path:

RadCalc - raport

Wojewodzki Szpital Specjalistyczny

Photon Monitor Unit Calc Sheet

Patient Name: _____ Patient ID#: _____
Calculation Name: etap1 wer _____
Comments: _____

Prescription Name	Prescribed Dose (cGy)	Dose Per Treatment (cGy)	Num Fractions
pluco_11a	5000.0	200.0	25.0

Beam Description	Accelerator: Clinac2
1	Energy: 6X
Beam ID: 1	Gantry: 0
Calc Pt: RC_pref	Collim.: 0 Couch: 0
Dose Per Treat.: 53 cGy	SSD: 88.42 Depth: 11.58
Iso. @ Calc Pt: 102.9%	SSD @ Iso: 88.42 Eff. Depth: 5.67
RTP Dose @ Calc: 54.18 cGy	Eq. Sq.: 11.55 Blk Eq Sq: ~10.51
Wedge Factor: 1.000	
Sc: 1.004	
ISF: 1.000	
Primary x OAF: 0.630	
Scatter: 0.163	
Inhomo. Corr.: 1.201	
Cal. Factor: 1.021	
Dose Per MU: 0.976	
MU: 55	
Plan MU: 56	
Percent Diff: -1.8%	

BEV Diagram

Clarkson

Wojewodzki Szpital Specjalistyczny

Photon Point Calculations

Patient Name: _____ Patient ID#: _____
Calculation Name: etap1 wer _____
Comments: _____

Point Name	RC_pref
Coordinates (X, Y, Z)	(-3.62, 25.78, 32.03)
Total Dose (cGy)	205.67
RTP Calculated Dose (cGy)	205.89
Percent Difference	-0.1%

Beam Description	Offsets X/Z	SSD / Depth	Point Dose (cGy)	RTP Dose (cGy)	Dose or % Diff
1	0.00/0.00	88.42/11.58	55.10	54.18	1.7%
2	0.00/0.00	83.05/16.95	21.03	21.67	-3.0%
3	0.00/0.00	78.28/21.72	18.64	18.96	-1.7%
4	0.00/0.00	85.90/14.10	72.11	73.14	-1.4%
5	0.00/0.00	89.54/10.46	38.80	37.93	2.3%

RadCalc – baza pacjentów

Open Patient Calculation

Filtered by: Patient Name

Existing Calculations for **Total: 2**

Patient's Name	Med. Rec. Num.	Last Accessed
		9/14/2016

Calculation Name	Type	Calculated By	Checked By	Do
etap1 wer	Photon	--- 09/14/2016	--- --/--/----	---
Beams - (Machine: Clinac2, Energy: 6X)				
1				
Monitor Units	55			
Plan Monitor Units	56			
Percent Difference	-1.8%			
2				
Monitor Units	31			
Plan Monitor Units	30			
Percent Difference	3.3%			
3				
Monitor Units	42			
Plan Monitor Units	41			
Percent Difference	2.4%			
4				
Monitor Units	99			
Plan Monitor Units	98			
Percent Difference	1.0%			
5				
Monitor Units	40			
Plan Monitor Units	41			
Percent Difference	-2.4%			
Calculation Points				
PTV				
Dose (cGy)	209.27			
RTP Dose (cGy)	200.0			
Percent Difference	4.6%			
RC_pref				
Dose (cGy)	205.66			
RTP Dose (cGy)	205.89			
Percent Difference	-0.1%			
etap2 wer	Photon	--- 07/18/2016	--- --/--/----	---

Add
 Edit
 Delete
 Refresh

Open
 Add
 Edit
 Copy
 Delete
 Expand Preview
 Collapse Preview
 Export to Pinnacle

Materiały i metody

1. **fantom wodny** – sprawdzenie dokładności obliczeń MU w systemie RadCalc

- w systemie TPS Eclipse stworzono 54 plany testowe: pola symetryczne, asymetryczne, dla różnych SSD, półwiązki, z ukośnym wejściem wiązki, z użyciem modyfikatorów (kliny, osłony, kolimator MLC)
- obliczono liczbę MU potrzebną do dostarczenia dawki 100cGy w punkcie referencyjnym
- dla dwóch energii wiązek fotonowych - tj. 6 i 15 MV
- w programie RadCalc dokonano niezależnych obliczeń liczby MU
- plany testowe zostały stworzone głównie w oparciu o raport IAEA-TECDOC-1583

Materiały i metody

2. **pacjent** – weryfikacja planów leczenia w systemie RadCalc

- 113 planów leczenia wykonanych techniką 3D-CRT w systemie TPS Eclipse
- 80 pacjentów podzielonych na cztery grupy w zależności od miejsca leczenia (głowa, pierś, płuco, prostata), po 20 pacjentów na każdą grupę
- z wykorzystaniem dwóch energii wiązek fotonowych tj. 6 i 15 MV

Procentowa różnica liczby jednostek monitorowych Δ_{MU} obliczonych w programie RadCalc i systemie TPS Eclipse:

$$\Delta_{MU} = \frac{MU_{RC} - MU_{TPS}}{MU_{TPS}} \times 100 [\%] \quad (1),$$

gdzie:

MU_{RC} – liczba jednostek monitorowych obliczona w programie RadCalc,

MU_{TPS} – liczba jednostek monitorowych obliczona w systemie TPS Eclipse.

Procentowa różnica dawek Δ_D obliczonych w programie RadCalc i systemie TPS Eclipse:

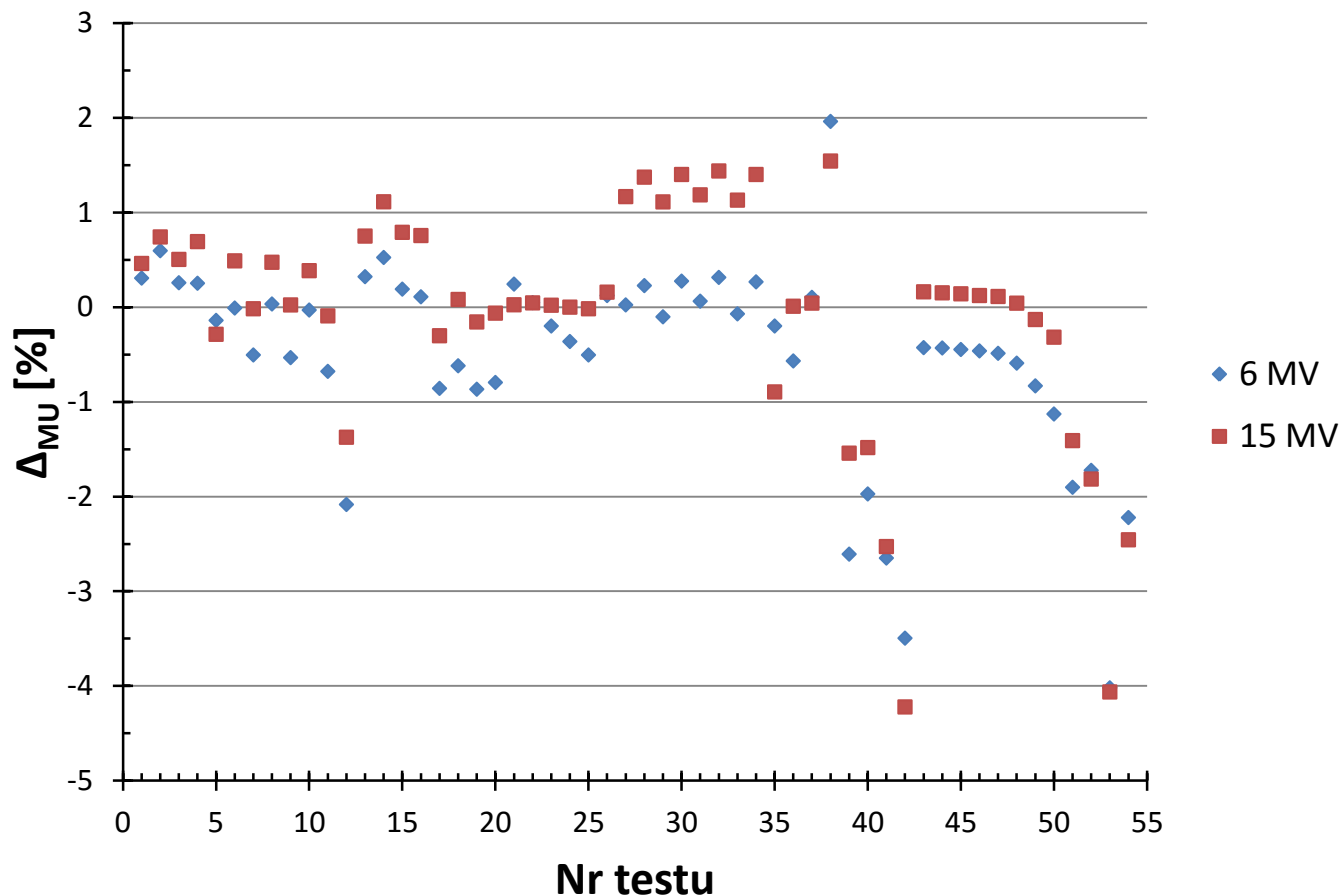
$$\Delta_D = \frac{D_{RC} - D_{TPS}}{D_{TPS}} \times 100 [\%] \quad (2),$$

gdzie:

D_{RC} – dawka obliczona w programie RadCalc,

D_{TPS} – dawka obliczona w systemie TPS Eclipse.

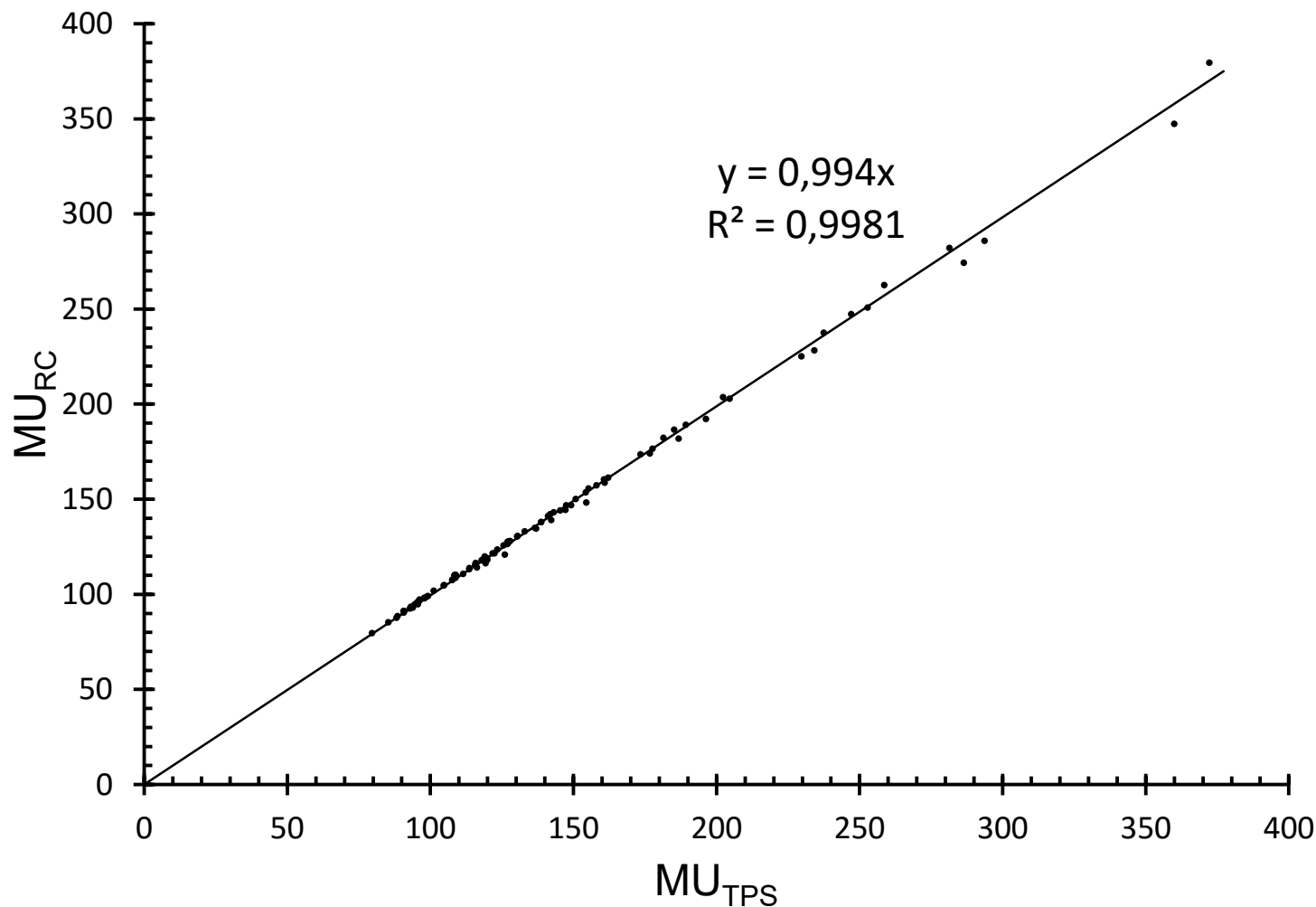
Sprawdzenie dokładności obliczeń w systemie RadCalc



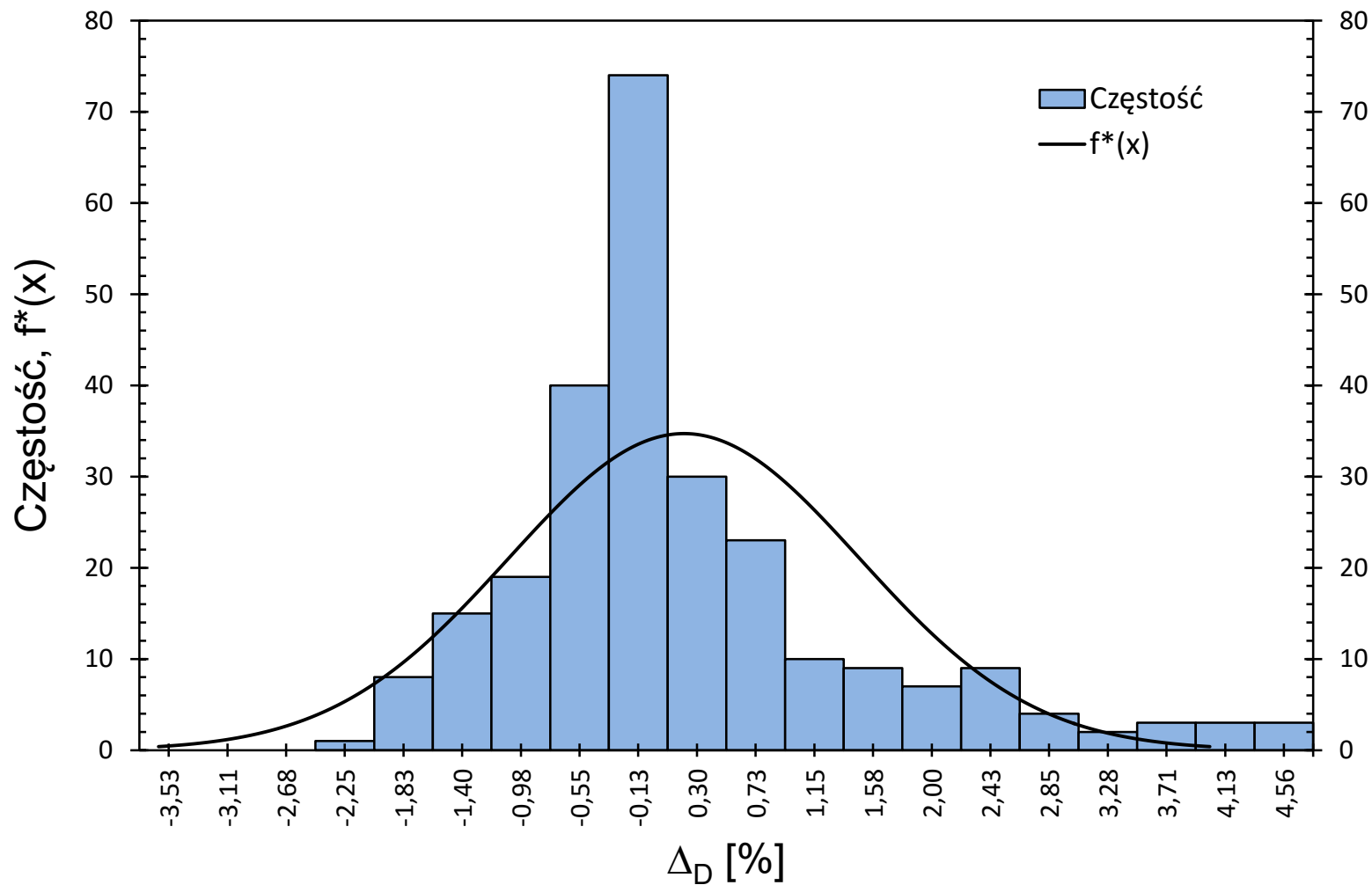
dla 6 MV $\Rightarrow \bar{\Delta}_{MU} = (-0,52 \pm 1,05)\%$

dla 15 MV $\Rightarrow \bar{\Delta}_{MU} = (-0,06 \pm 1,22)\%$

Porównanie liczby jednostek monitorowych MU obliczonych w systemach RadCalc i Eclipse dla fantomu wodnego



Histogram procentowej różnicy dawek obliczonych w systemach RadCalc i Eclipse dla fantomu wodnego



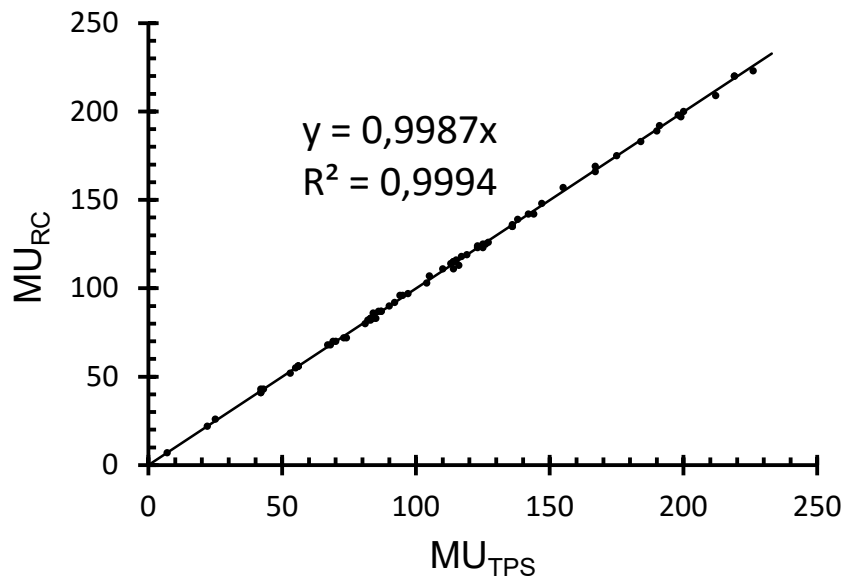
$$\overline{\Delta_D} = (0,20 \pm 1,22)\%$$

Weryfikacja planów leczenia w systemie RadCalc

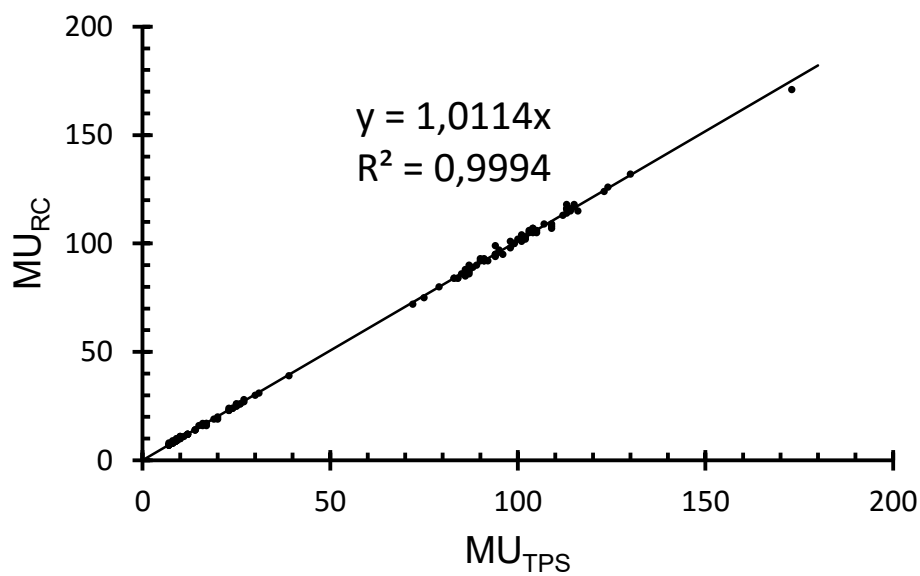
Analiza rozbieżności w obliczeniach dawki pomiędzy systemami RadCalc i Eclipse w zależności od lokalizacji obszaru leczenia.

Lokalizacja	Wartość średnia Δ_D [%] \pm odch. stand. σ [%]	95 % przedział ufności dla wartości średniej Δ_D [%]	Zakres [%]	Liczba planów / Liczba pól
głowa	$0,08 \pm 1,05$	(-0,16 ; 0,33)	(-2,35 ; 3,05)	24/74
piers	$-1,21 \pm 1,42$	(-1,46 ; -0,97)	(-5,05 ; 2,19)	36/132
płuco	$-0,22 \pm 2,28$	(-0,62 ; 0,19)	(-6,41 ; 10,08)	28/127
prostata	$0,04 \pm 0,93$	(-0,13 ; 0,20)	(-2,64 ; 2,63)	25/127
pacjent	$-0,38 \pm 1,65$	(-0,54 ; -0,23)	(-6,41 ; 10,08)	113/460

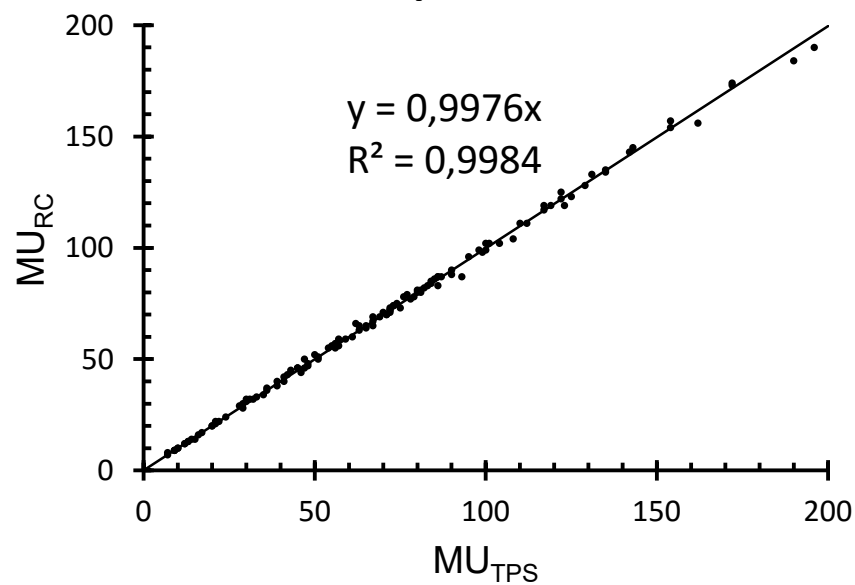
dla głowy



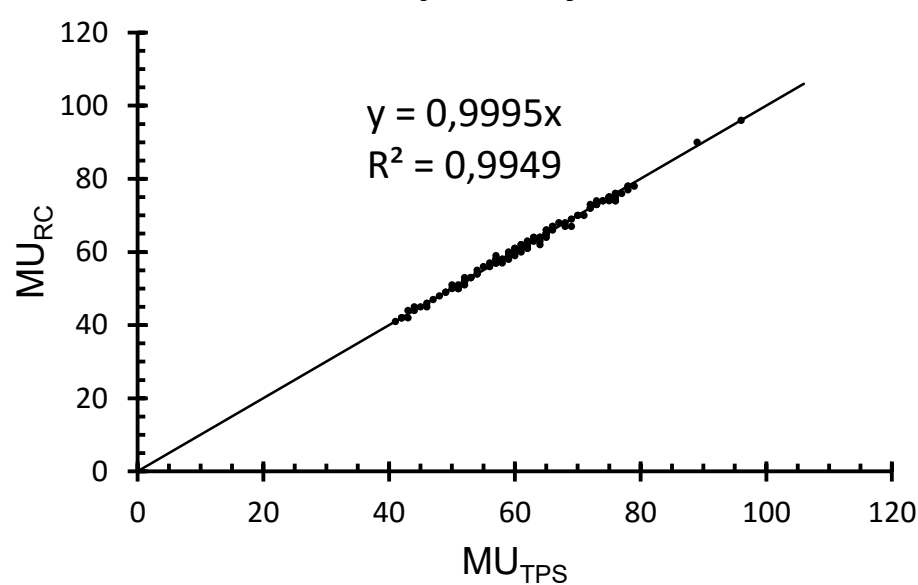
dla piersi



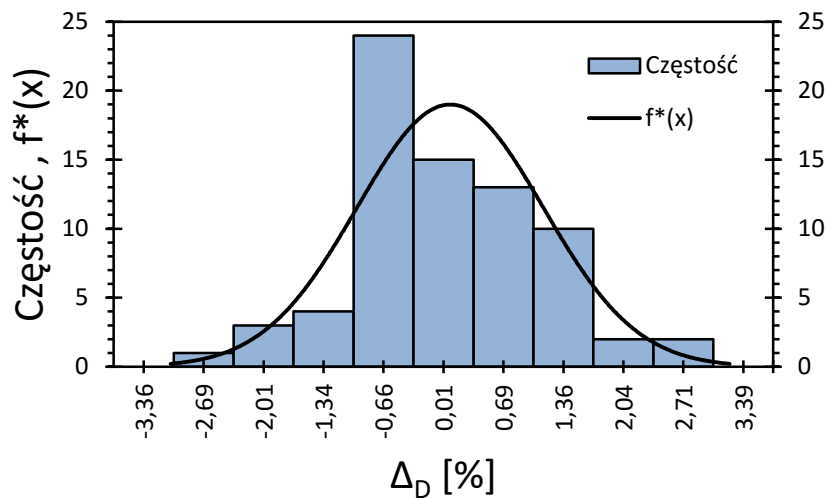
dla płuca



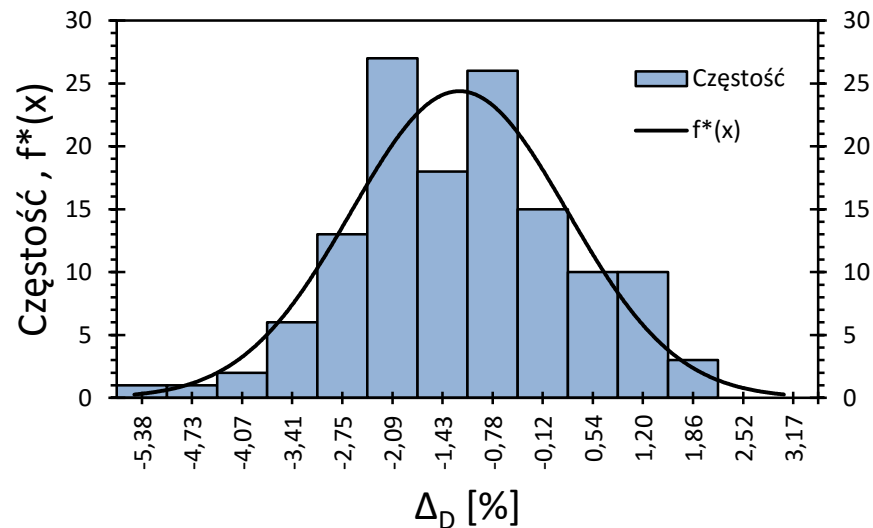
dla prostaty



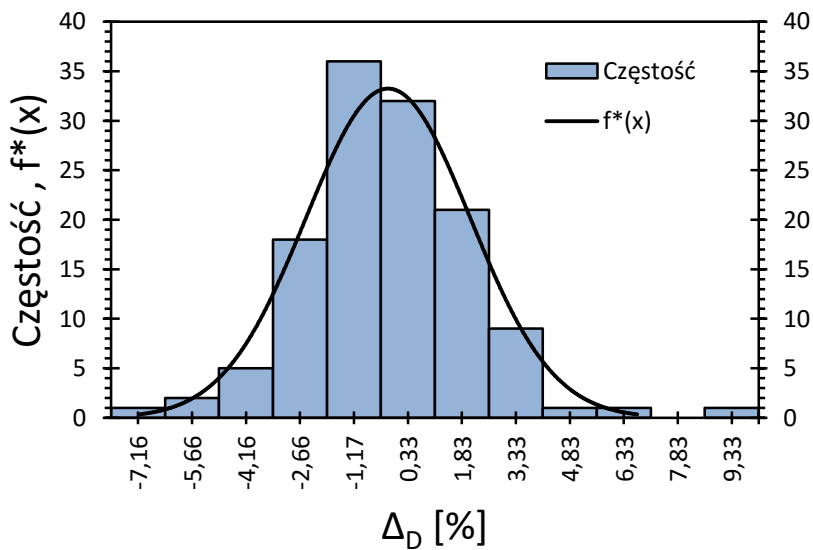
Histogram dla głowy



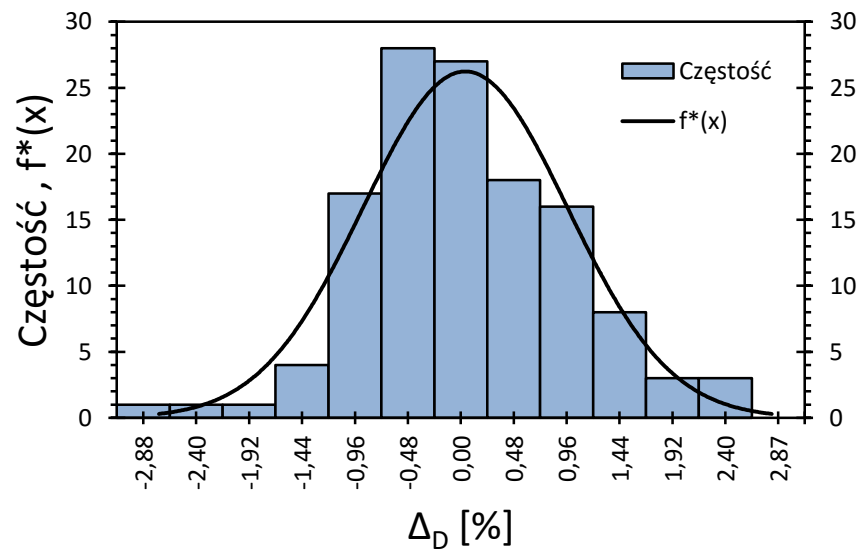
Histogram dla piersi



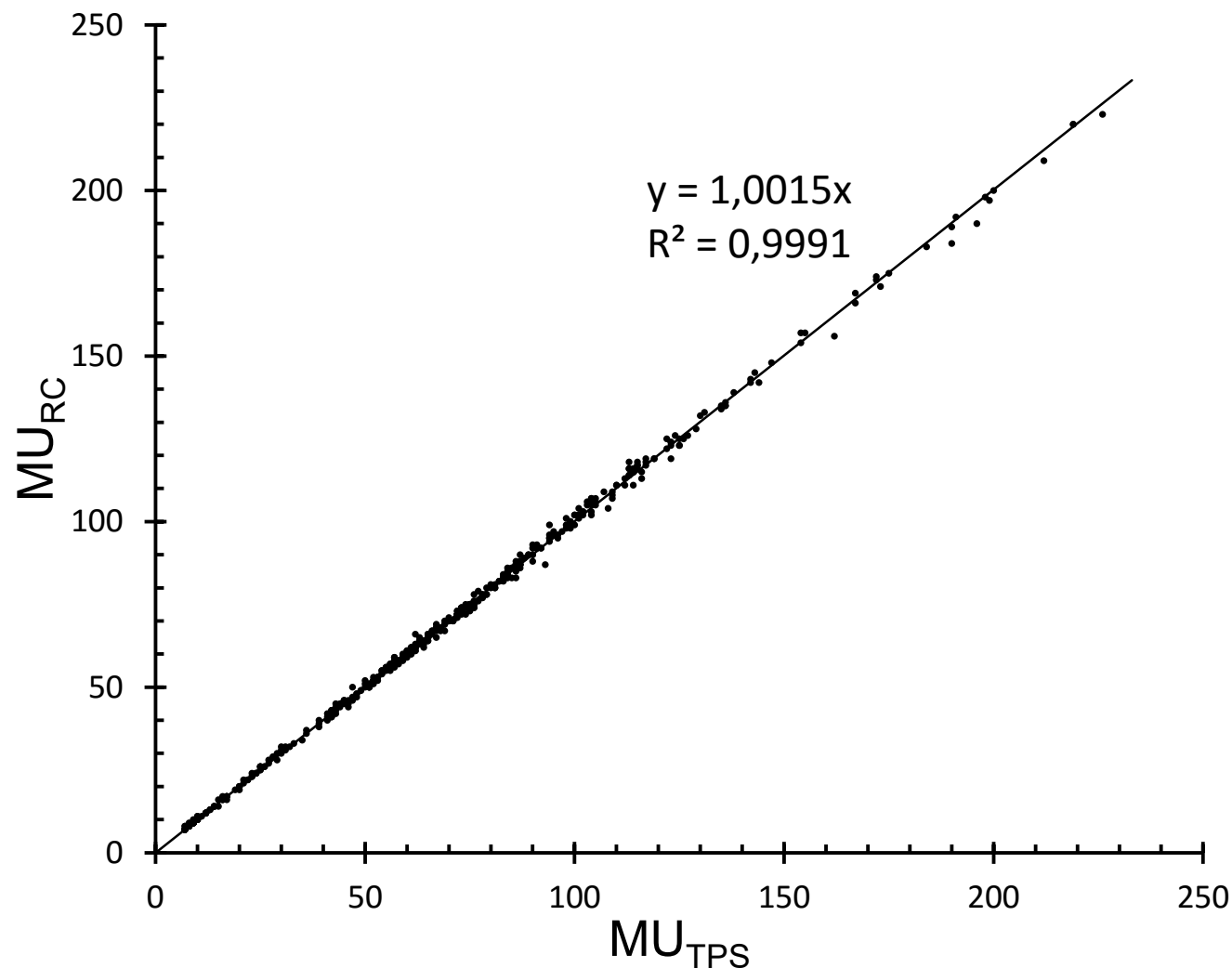
Histogram dla płuca



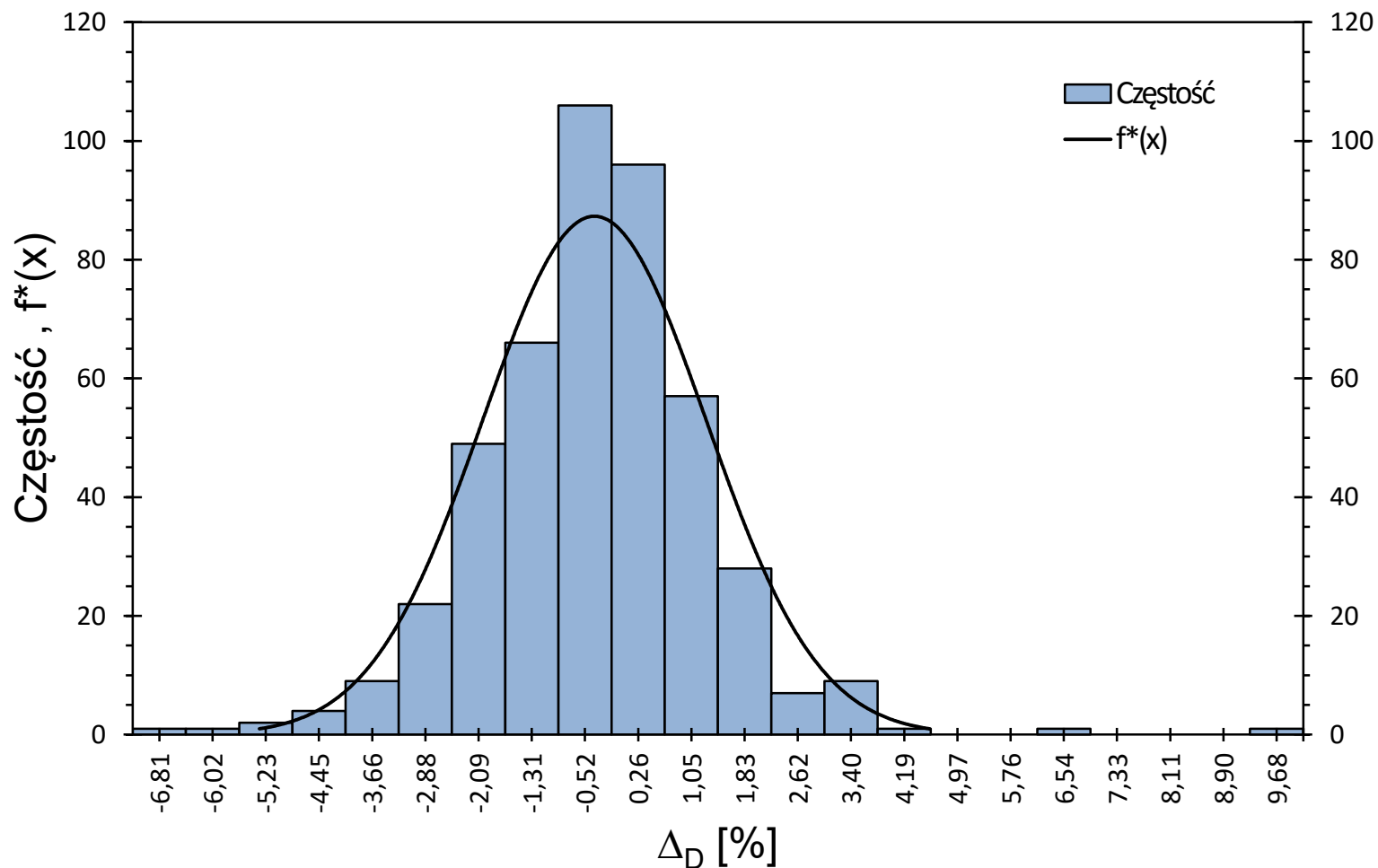
Histogram dla prostaty



Porównanie liczby jednostek monitorowych MU obliczonych w systemach RadCalc i Eclipse dla wszystkich przypadków



Histogram procentowej różnicy dawek obliczonych w systemach RadCalc i Eclipse dla wszystkich przypadków



$$\bar{\Delta}_D = (-0.38 \pm 1.65)\%$$

Oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia różnic w dawce między systemami RadCalc i Eclipse w przedziale $\pm 3\%$ od wartości średniej.

Lokalizacja	1σ	$ \Delta_D - \text{średnia } \Delta_D = 3\%$	$P(\Delta_D - \text{średnia } \Delta_D \leq 3\%)$	$P(\Delta_D - \text{średnia } \Delta_D > 3\%)$
głowa	1,05 %	2,86 σ	99,6 %	0,4 %
piersć	1,42 %	2,11 σ	96,5 %	3,5 %
płuco	2,28 %	1,31 σ	81,0 %	19,0 %
prostata	0,93 %	3,24 σ	99,9 %	0,1 %
pacjent	1,65 %	1,82 σ	93,1 %	6,9 %

Określenie poziomu reagowania z prawdopodobieństwem równym 95%.

Lokalizacja	1σ	$ \Delta_D - \text{średnia } \Delta_D = 1,96\sigma$
głowa	1,05 %	$\pm 2,06 \%$
piersć	1,42 %	$\pm 2,79 \%$
płuco	2,28 %	$\pm 4,48 \%$
prostata	0,93 %	$\pm 1,82 \%$
pacjent	1,65 %	$\pm 3,23 \%$

- Dobra zgodność jednostek monitorowych obliczonych w systemach RadCalc i Eclipse
- Lokalizacja punktu referencyjnego ma istotny wpływ na jakość obliczeń
- Dla punktu zlokalizowanego w obszarze wysokiego gradientu dawki lub na granicy ośrodków o znacząco różnych gęstościach różnice mogą być większe od przyjętego limitu (należy zmienić położenie punktu i wykonać dodatkowe obliczenia)
- Zgodność obliczeń między systemami RadCalc i Eclipse zależna od lokalizacji obszarów leczenia
- RadCalc jak najbardziej nadaje się do weryfikacji czasu napromieniania

Dziękuję za uwagę!

Literatura:

1. J. H. Kung, G. T. Y. Chen, F. K. Kuchnir, *"A monitor unit verification calculation in intensity modulated radiotherapy as a dosimetry quality assurance"*, Medical Physics, Vol. 27, No. 10, (2000).
2. J. J. Haslam, D. V. Bonta, A. E. Lujan, C. Rash, W. Jackson, J. C. Roeske, *"Comparison of dose calculated by an intensity modulated radiotherapy treatment planning system and an independent monitor unit verification program"*, Journal of Applied Clinical Medical Physics, Vol. 4, No. 3, (2003).
3. Michael Peter Currie, *"Verification of an independent monitor unit calculation program for IMRT quality assurance"*, MSc thesis (Research), School of Engineering Physics, University of Wollongong, (2007).
4. Robin L. Stern, Robert Heaton, Martin W. Fraser, S. Murty Goddu, Thomas H. Kirby, Kwok Leung Lam, Andrea Molineu, Timothy C. Zhu, *"Verification of monitor unit calculations for non-IMRT clinical radiotherapy: Report of AAPM Task Group 114"*, Medical Physics, Vol. 38, No. 1, (2011).
5. P. Sellakumar, C. Arun, S. S. Sanjay, S. B. Ramesh, *"Comparison of monitor units calculated by radiotherapy treatment planning system and an independent monitor unit verification software"*, Physica Medica, Volume 27, Issue 1, pages 21-29, (2011).