

TELERADIOTERAPIA

wykorzystanie promieniowania w medycynie


Anna Buszko

Centrum Onkologii-Instytut
im. M. Skłodowskiej-Curie



Radiobiologia

Nadrzędny cel radioterapii:

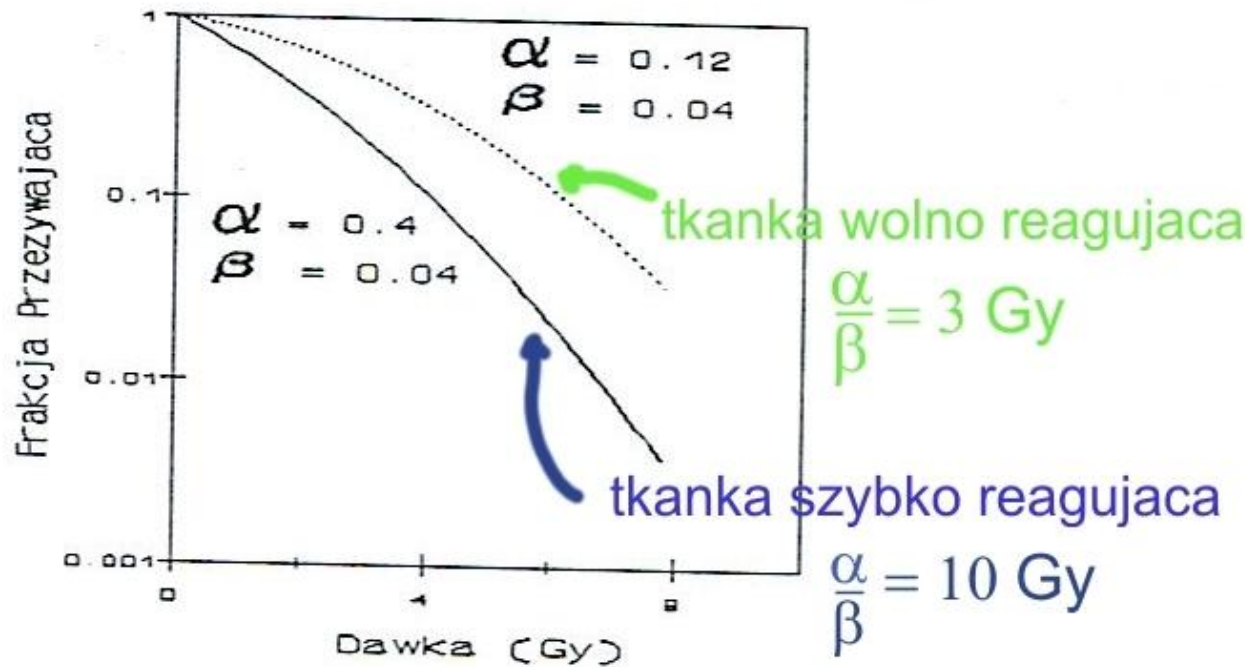
- zniszczenie nowotworu
 - maksymalne oszczędzenie tkanek zdrowych, uniknięcie ciężkich powikłań
- 

Krzywa przeżywalności komórkowej - Krzywa Pucka

- współczynnik promieniowrażliwości

$$\frac{\alpha}{\beta}$$

- – przeżywalność komórek po przejściu jednego kwantu promieniowania
- – ilość komórek zabitych w wyniku przejścia wielu kwantów promieniowania

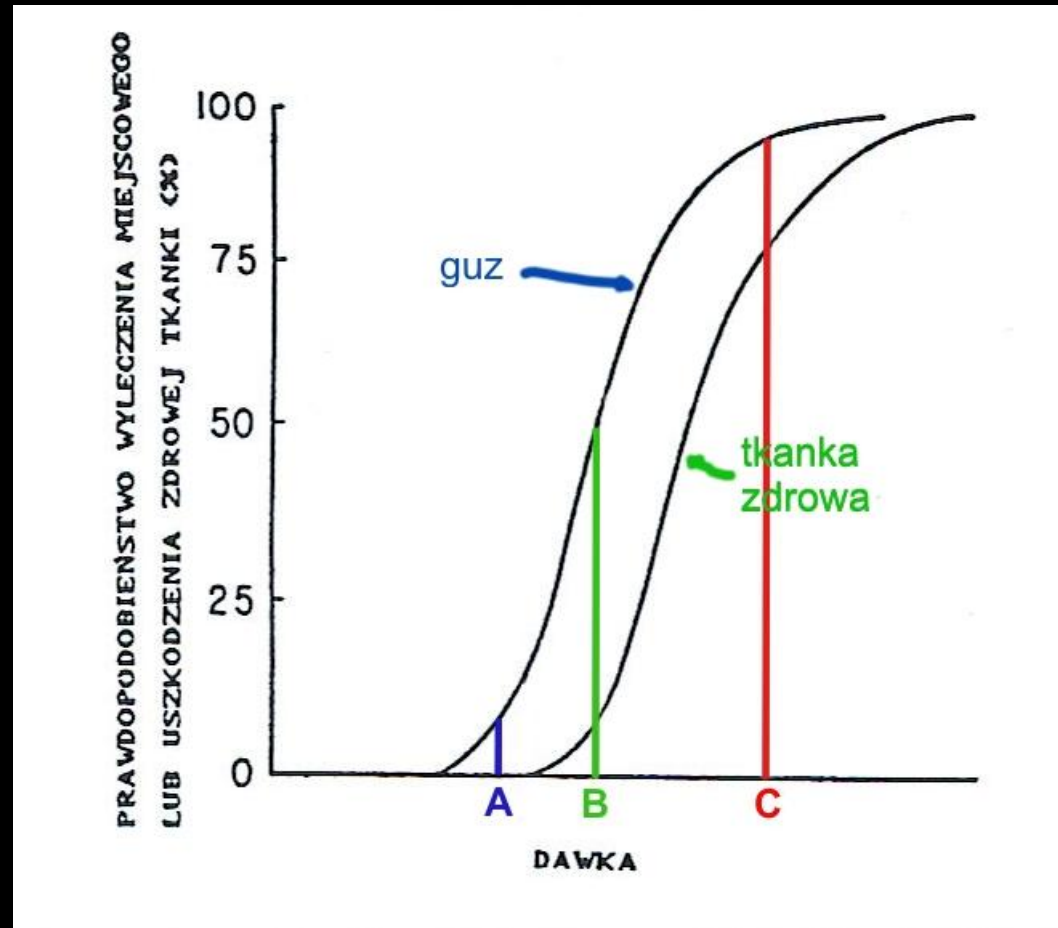


Wartości współczynnika α/β

tkanki reagujące wczesnym odczynem	α/β	tkanki reagujące późnym odczynem	α/β
śluzówka jelita cienkiego	13	rdzeń kręgowy	1.6-5
śluzówka jelita grubego	7	nerka	0.5-5
nabłonek skóry	10	płuco	2.5-4.5
komórki spermatogeniczne	13	wątroba	1.4-3.5
szpik kostny	9	skóra u ludzi	1.6-4.5
melanocyty	6.5	chrząstka i błona podśluzowa	1.0-4.9
przerzuty włókniakomięsaka myszy	10	skóra właściwa	2.5-1.0
nowotwory ludzkie	6-25	pęcherz	5.0-10
nowotwory eksperymentalne	10-35	Kości	1.8-2.5

Jaką podać dawkę ?

- prawdopodobieństwo wyleczenia miejscowego lub uszkodzenia zdrowej tkanki



Dawki tolerancji

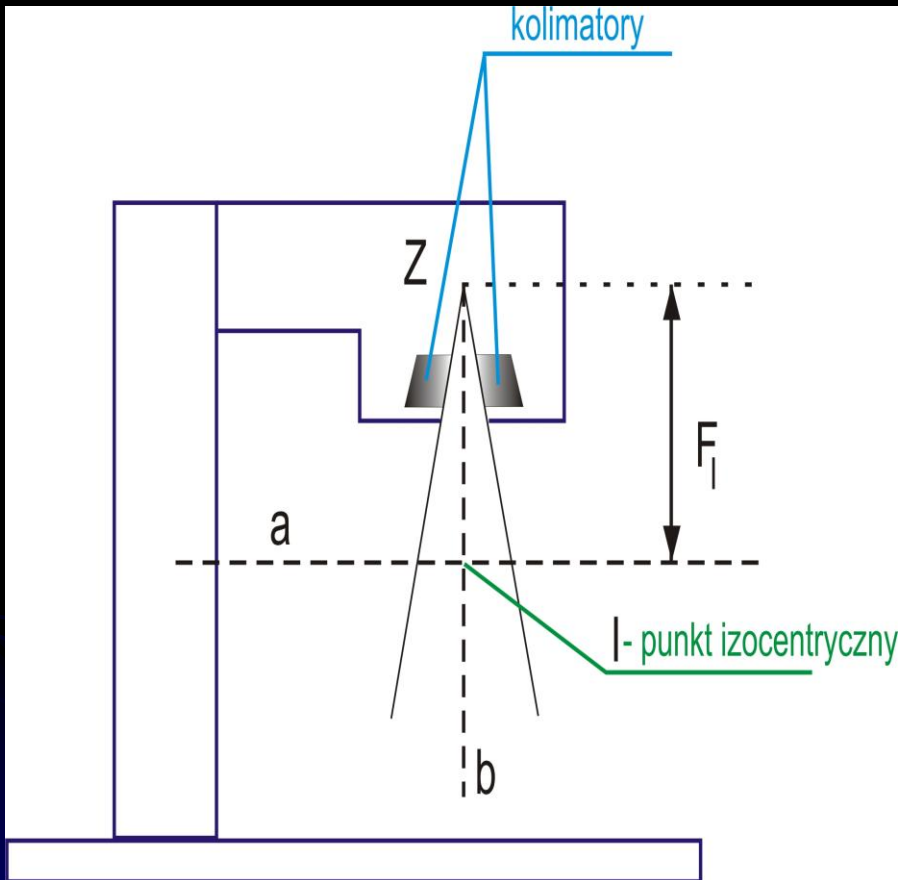
Dawki tolerancji

Organ	5% po 5 latach			50% po 5 latach		
	1/3 V	2/3 V	3/3 V	1/3 V	2/3 V	3/3 V
Nerka	5000	3000	2300		4000	2800
Pęcherz		8000	6500		8500	8000
Mózg	6000	5000	4500	7500	6500	6000
Nerw wzrokowy			5000			6600
Rdzeń kręgowy	5cm 5000	10cm 5000	20cm 4700	5cm 7000	10cm 7000	
Soczewka			1000			1800
Siatkówka			4500			6500
Płuco	4500	3000	1750	6500	4000	2450
Serce	6000	4500	4000	7000	5500	5000
Wątroba	5000	3500	3000	5500	4500	4000
Rectum			6000			8000
Skóra	10cm ² 7000	30cm ² 6000	100cm ² 5500			100cm ² 7000

Realizacja czyli aparaty w radioterapii

- Tomograf komputerowy
- Symulator
- Aparaty terapeutyczne
 - Co60
 - akceleratory liniowe
 - energie fotonów X4MV, X6MV, X15MV,
 - energie elektronów e^- 6, 9, 12,15,18,21 MeV

Budowa aparatu terapeutycznego



a - oś obrotu ramienia głowicy
b - oś centralna wiązki, przechodzi przez źródło promieniowania i jest osią symetrii wiązki

F_1 – odległość izocentryczna
kolimatory – ograniczniki wiązki
Z – źródło promieniowania

Bezpieczeństwo czyli pomiary

- przed dopuszczeniem do pracy nowego aparatu
- po przeglądach i naprawach
- kontrola:
 - codzienna
 - tygodniowa
 - kwartalna
 - roczna

Co mierzymy?

- **parametry mechaniczne**

- IZOCENTRUM
- ZGODNOŚĆ POLA ŚWIETLNEGO I PROMIENIOWANIA

- **pomiary dozymetryczne**

- PDG
 - PROFILE
 - WYDAJNOŚĆ W FUNKCJI POLA (moc dawki)
- 

Dozymetria – podstawowe pojęcia

● dawka

dawka to ilość energii zaabsorbowana w jednostce masy, jednostką dawki jest 1 Gray [1Gy = 1J/1 kg],

$$D = E/m \quad \Rightarrow \quad D = dz_{\text{śr}} * k_{\text{BT}} * N_D * \beta$$

często wyrażamy dawkę w jednostkach 100 razy mniejszych cGy

● procentowa dawka głęboka (dawka w funkcji głębokości w osi centralnej wiązki)

$$\text{PDG} = D_d / D_{\text{dmax}} * 100\%$$

D_d – dawka na głębokości d

D_{dmax} – dawka maksymalna, dawka w maksimum

Dozymetria – podstawowe pojęcia

- **SSD** - **s**ource to **s**kin **d**istance, odległość od źródła do powierzchni skóry pacjenta
- **izocentrum**
 - punkt izocentryczny –punkt przecięcia osi centralnej wiązki i osi obrotu głowicy urządzenia terapeutycznego
 - wiązka promieniowania jest rozbieżna, im dalej od źródła promieniowania tym większe jest pole promieniowania
 - przyjęto, że wielkość pola określana jest w odległości izocentrycznej równej 100 cm

Dozymetria – podstawowe pojęcia

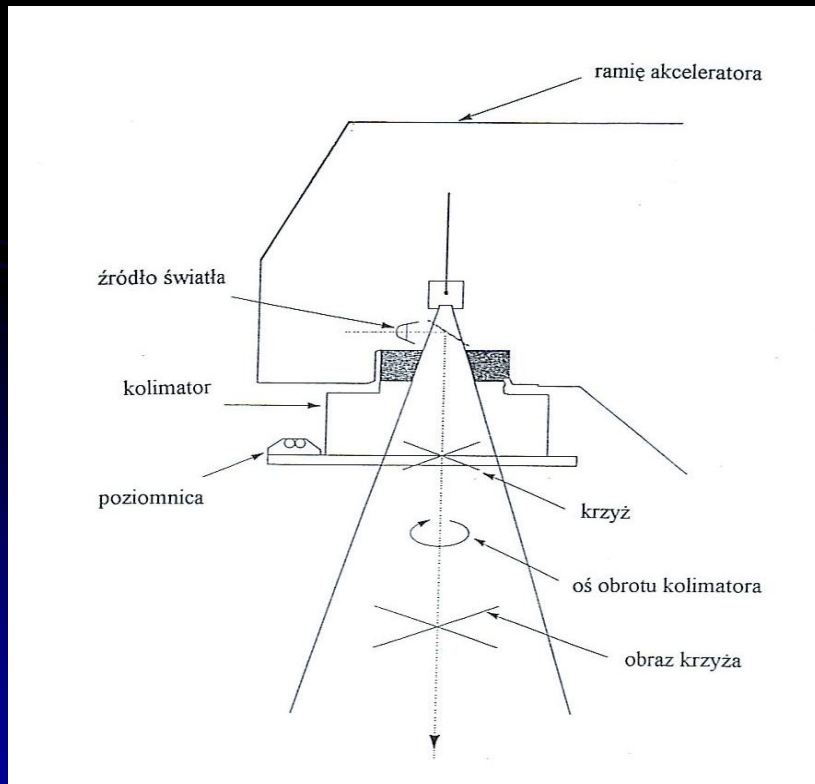
- moc dawki

- moc dawki dla wiązek wytwarzanych w przyspieszaczach definiuje się jako dawkę zaabsorbowaną w punkcie na osi centralnej, gdzie dawka osiąga maksimum, przypadającą na jednostkę dawki monitorowej zmierzoną przez komory monitorowe. Jednostką mocy dawki dla promieniowania generowanego w przyspieszaczach jest Mu/cGy , czyli 1 jednostka monitorowa na 1 cGy.

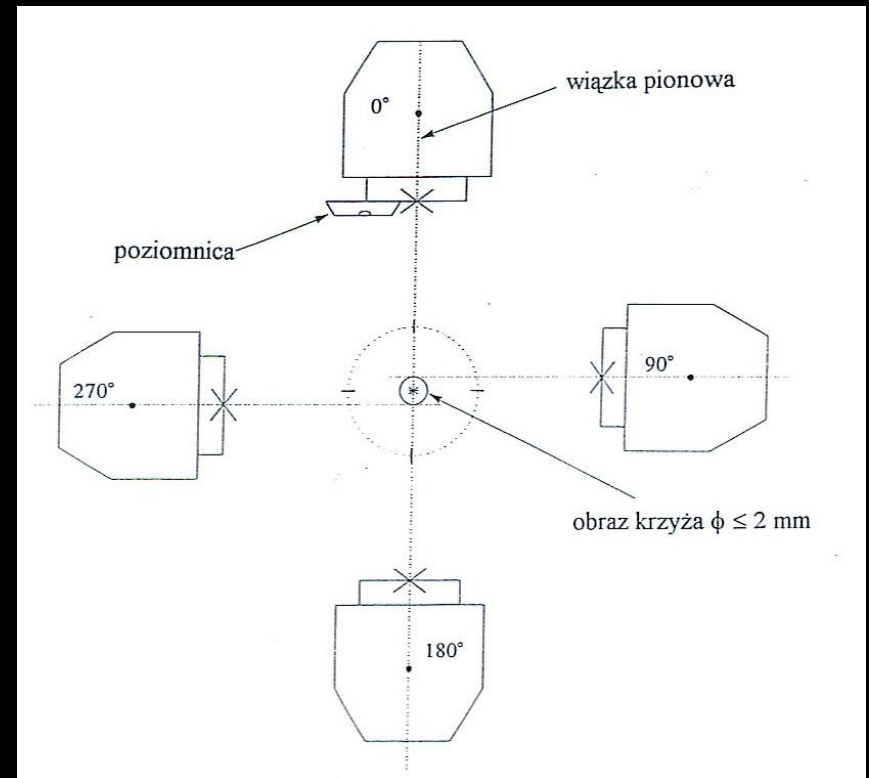
wydajność aparatów rośnie gdy rośnie wielkość pola,
maleje gdy rośnie odległość źródło skóra

Pomiary parametrów mechanicznych

- kontrola zgodności osi obrotu kolimatora z osią symulacji świetlnej

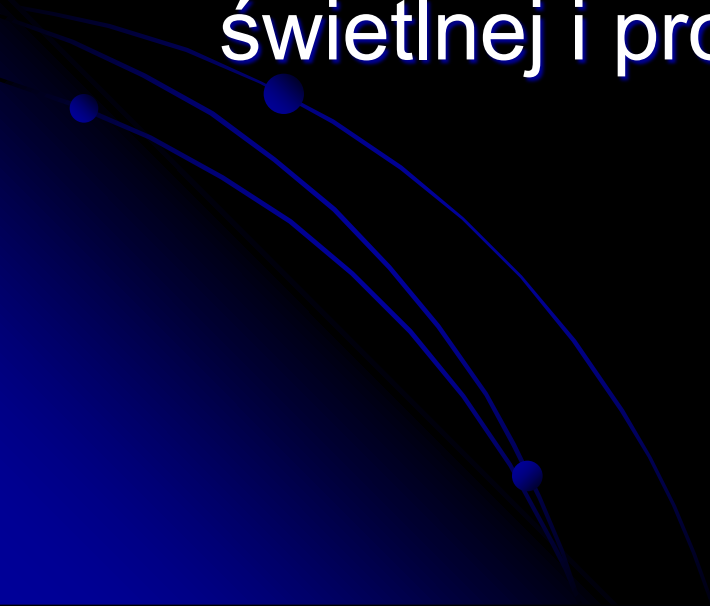


- kontrola izocentrum

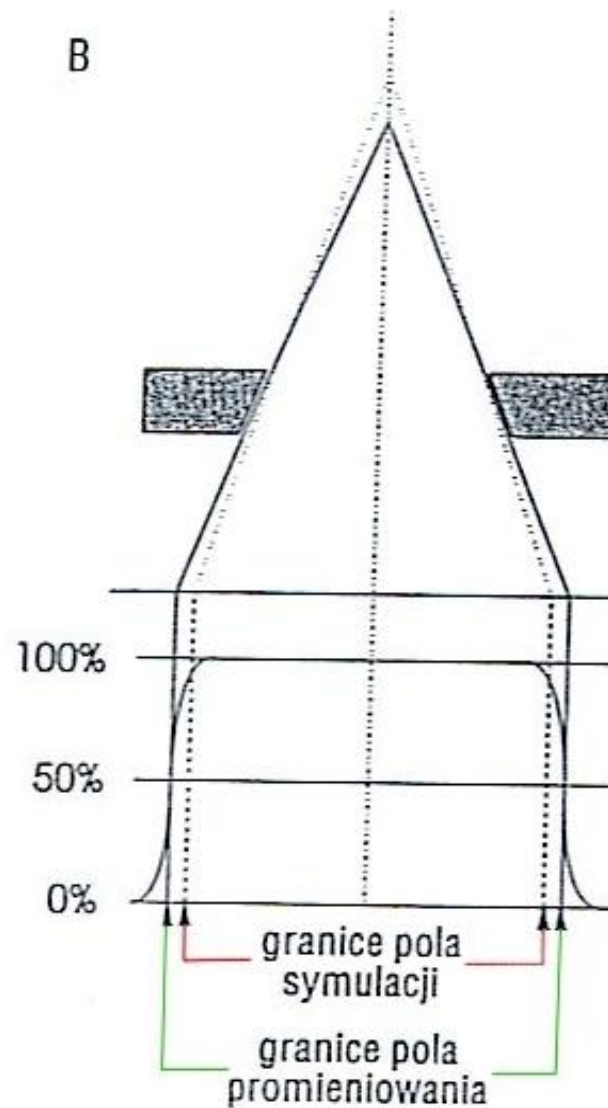
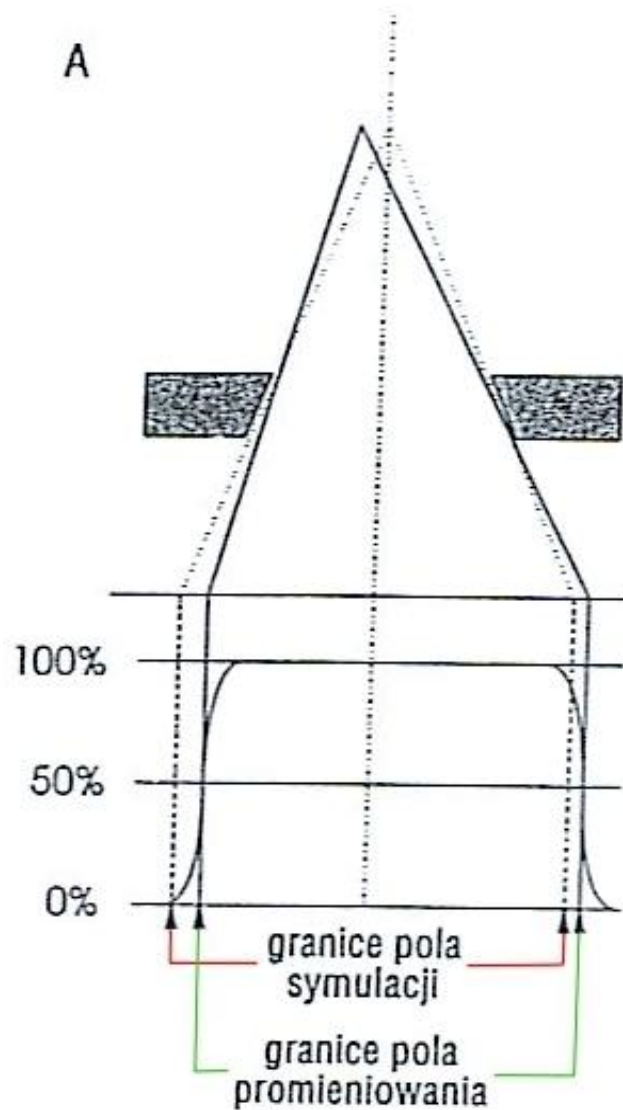


Pomiary parametrów mechanicznych

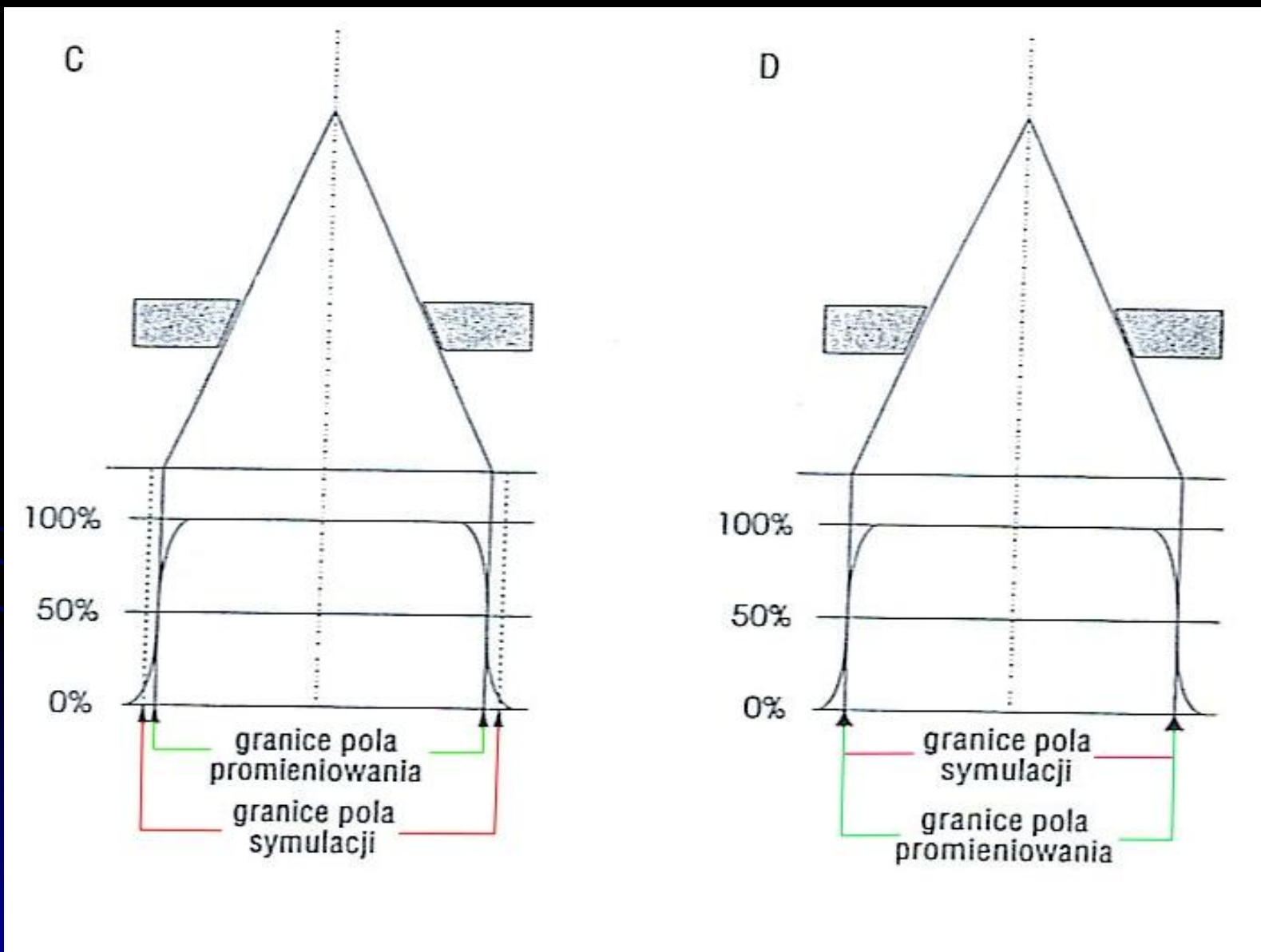
- zgodność pola świetlnego z polem promieniowania w różnych sytuacjach wzajemnego położenia źródeł: symulacji świetlnej i promieniowania jonizującego



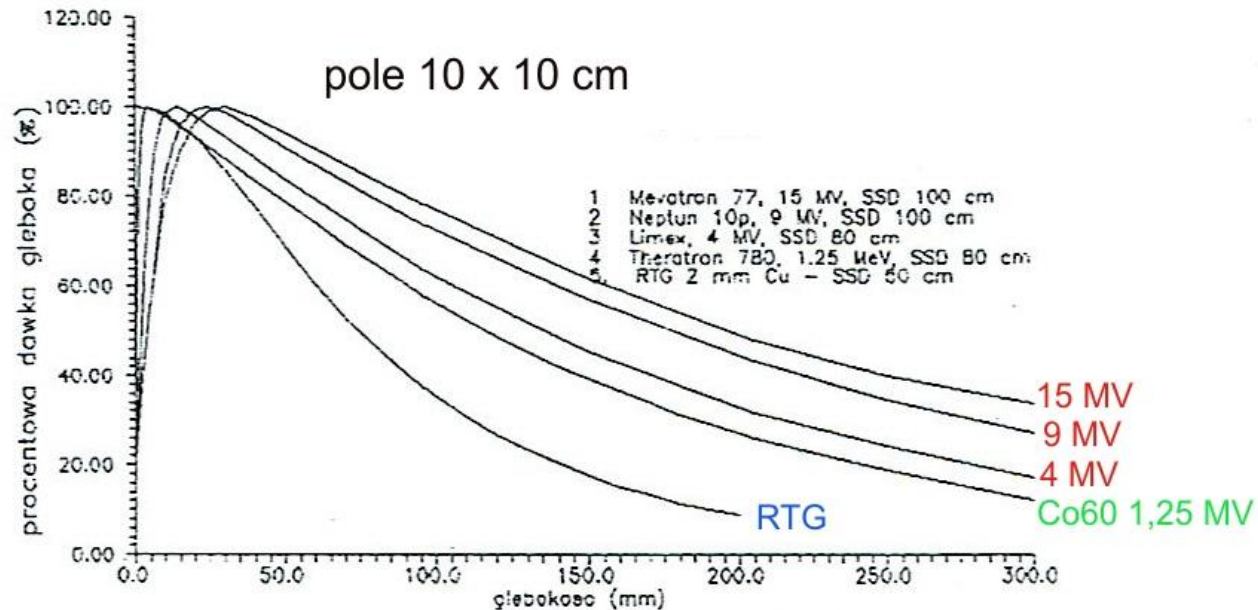
Pomiary parametrów mechanicznych



Pomiary parametrów mechanicznych



FOTONY - charakterystyka wiązek fotonowych



Ryc.3 Procentowa dawka głęboka dla promieniowania rtg 250 kV, promieniowania Co-60 i promieniowania X o energii nominalnej 4,9,15 MV dla pola 10x10 cm.

$$PDG = \frac{D_d}{D_{dmax}} * 100 \%$$

$$D = dz_{sr} * K_{BT} * N_D * \beta$$

- obszar narastania dawki (zjawisko build-up, zależność dawki na powierzchni od energii, wielkości pola, układu kolimującego, obszar równowagi elektronowej)

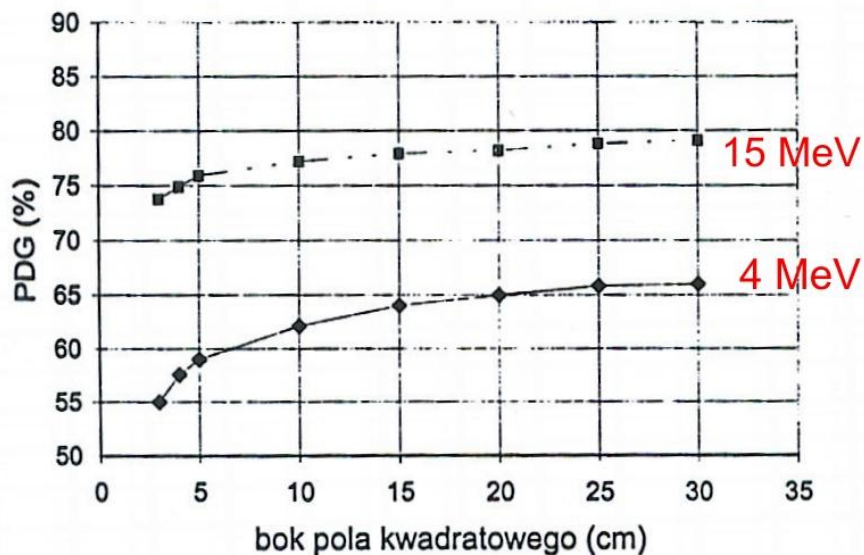
FOTONY - charakterystyka wiązek fotonowych

- **obszar narastania dawki – build up**

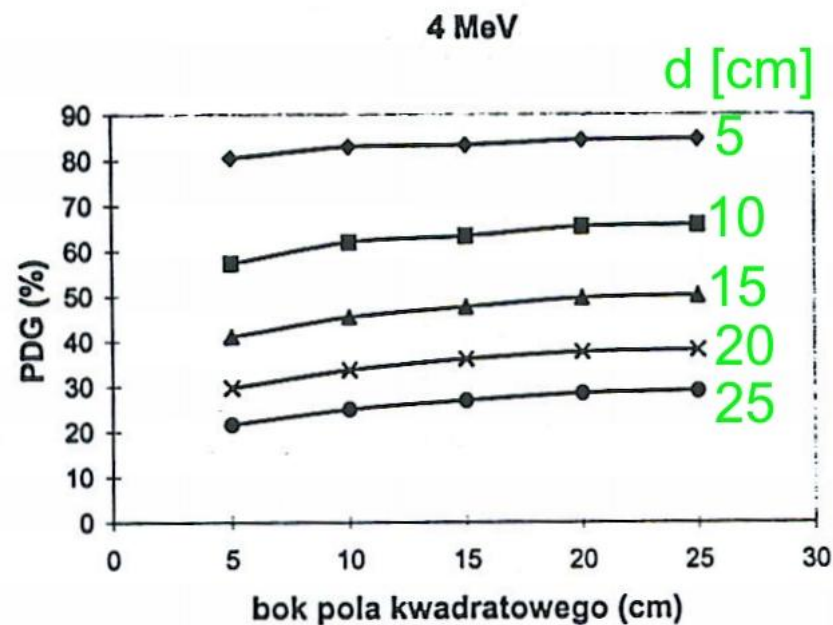
- punkt w którym dawka jest maksymalna odsuwa się od powierzchni wraz ze wzrostem energii promieniowania
- punkt, w którym dawka jest maksymalna przysuwa się do powierzchni wraz ze wzrostem wielkości pola
- dawka na powierzchni rośnie wraz ze wzrostem wielkości pola
- nie istnieje prosta zależność pomiędzy dawką na powierzchni i energią promieniowania
- najszybszy wzrost PDG obserwujemy blisko powierzchni, a w miarę zbliżania się do maksimum wzrost staje się coraz wolniejszy

FOTONY - charakterystyka wiązek fotonowych

zależność PDG od wielkości pola



zależność PDG od wielkości pola na kilku głębokościach

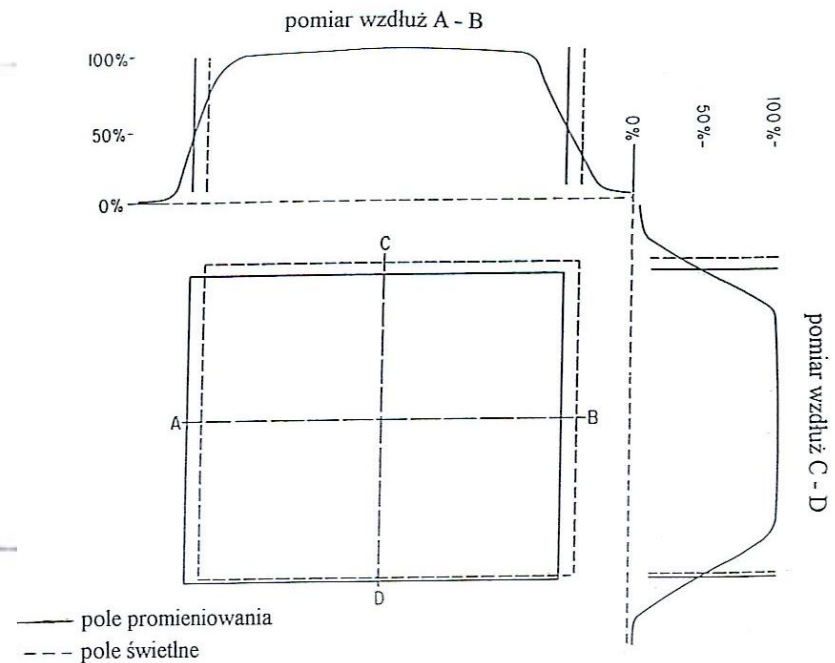
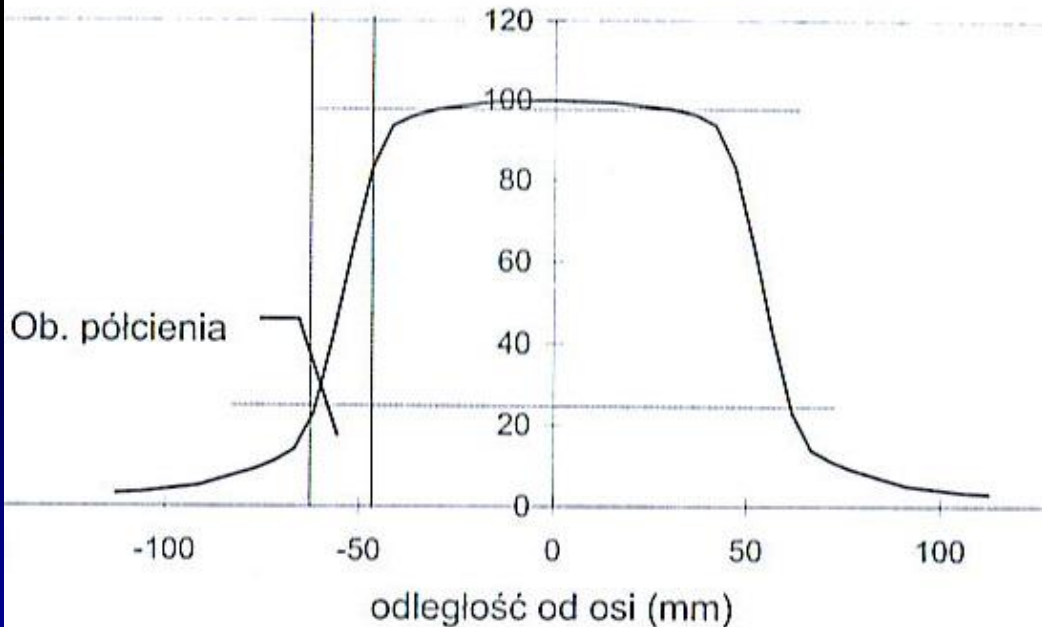


FOTONY - charakterystyka wiązek fotonowych

profil wiązki terapeutycznej

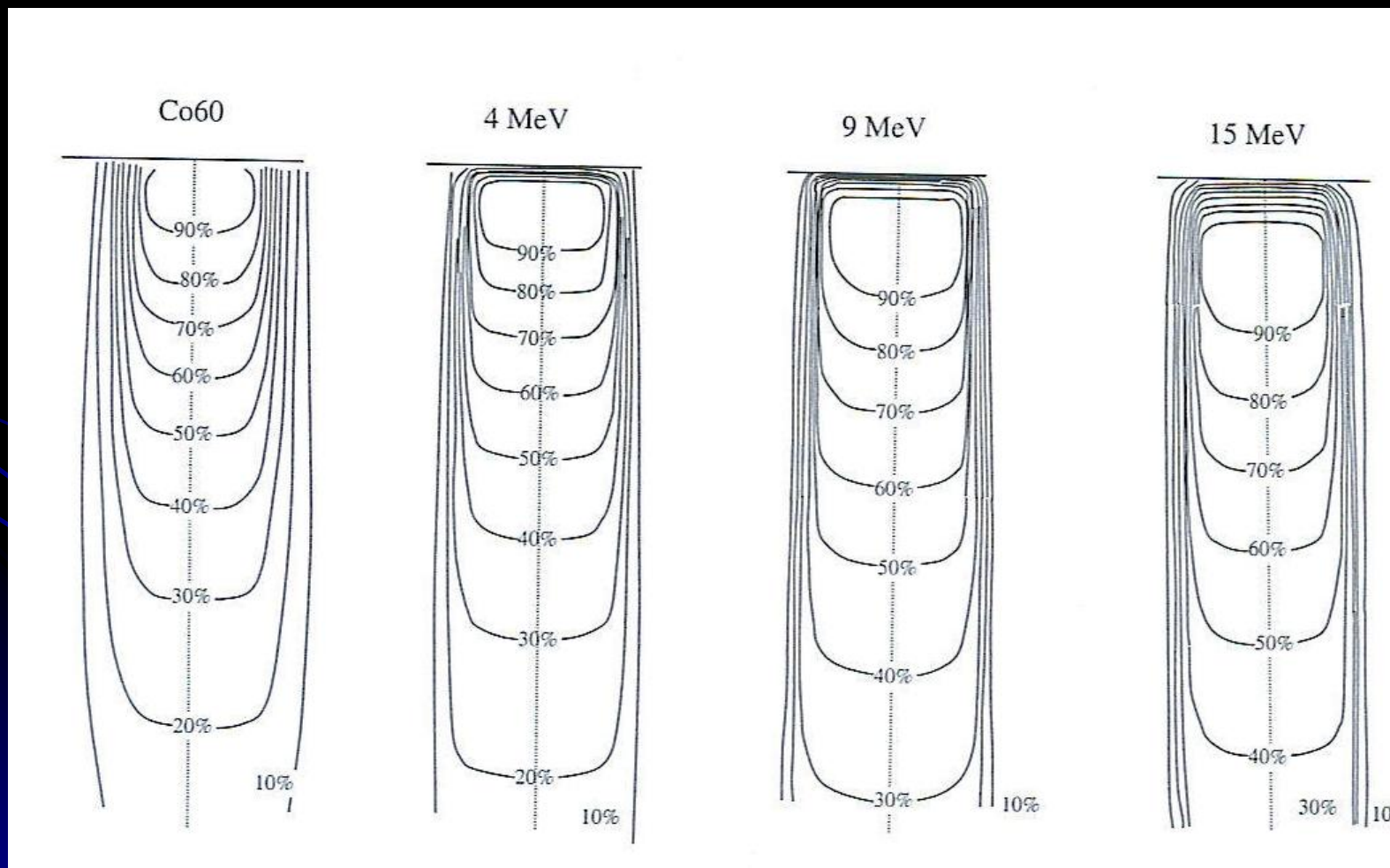
profile prostopadłe

pole 10 x 10, trymery 45, głębokość 10 cm



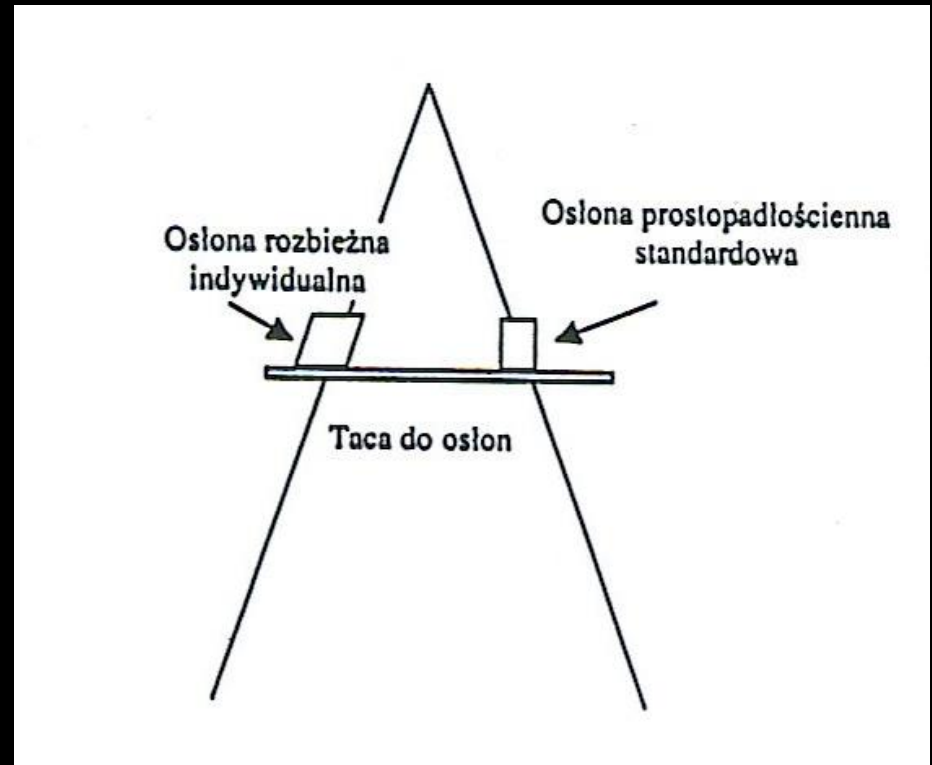
FOTONY - charakterystyka wiązek fotonowych

- izodozy dla wiązek fotonowych, dla pól kwadratowych o boku 6 cm



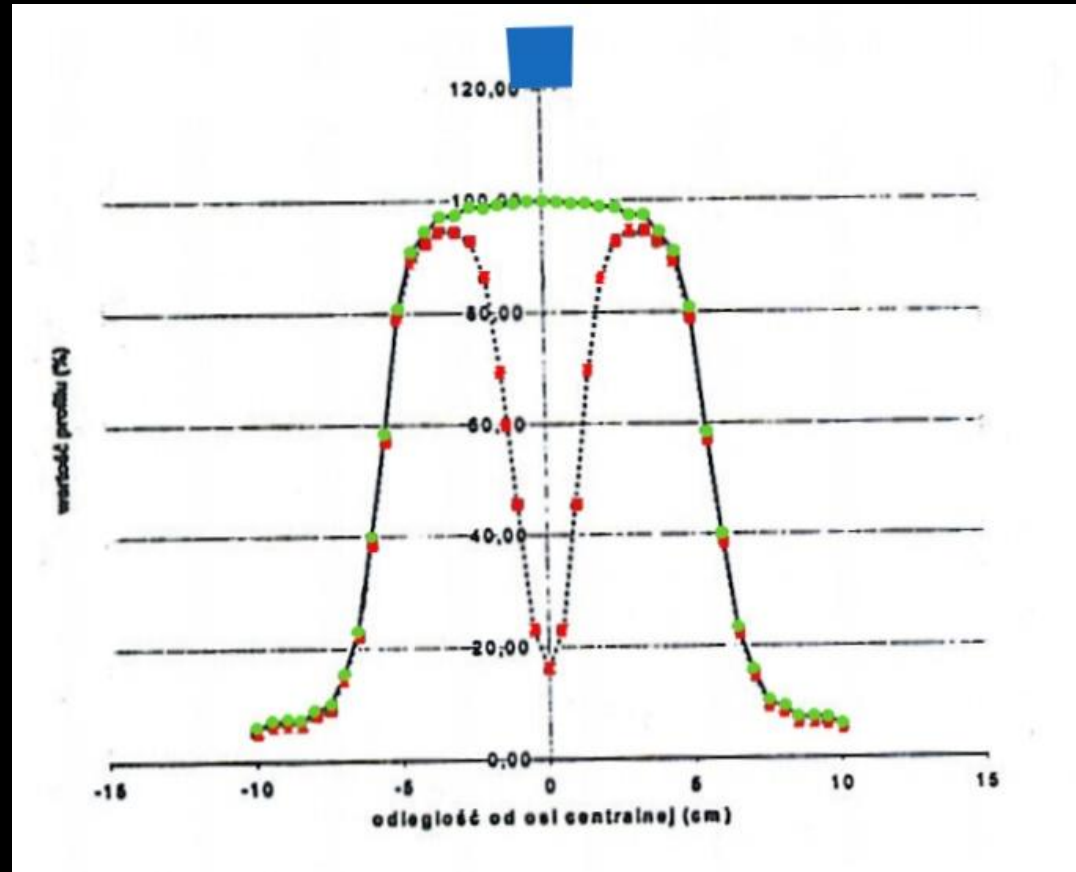
Osłony – dlaczego indywidualne?

- kształt osłony zgodny ze zbieżnością wiązki i konturem zmiany (MLC wylane ze zbieżnością?)
- wysokość prawidłowej osłony = 5 warstw połówających wtedy dawka nie przekracza 4 % wartości dawki pierwotnej
- dla fotonów (4MV, 6MV, 15MV) wysokość osłon za stopu Wooda 6-7cm



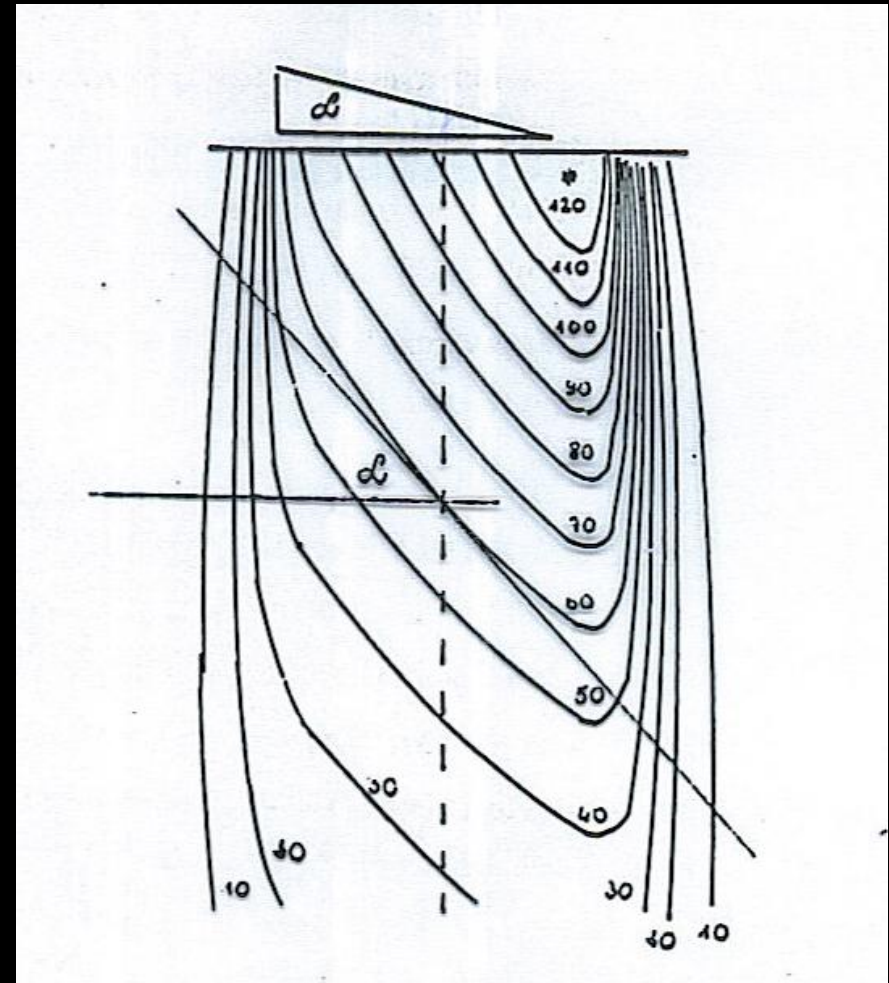
Ostony – dlaczego indywidualne?

- profil wiązki dla pola otwartego i z osłoną
- w ocenie dawki pod osłoną trzeba pamiętać, że na dawkę składa się dawka promieniowania pierwotnego i rozproszonego



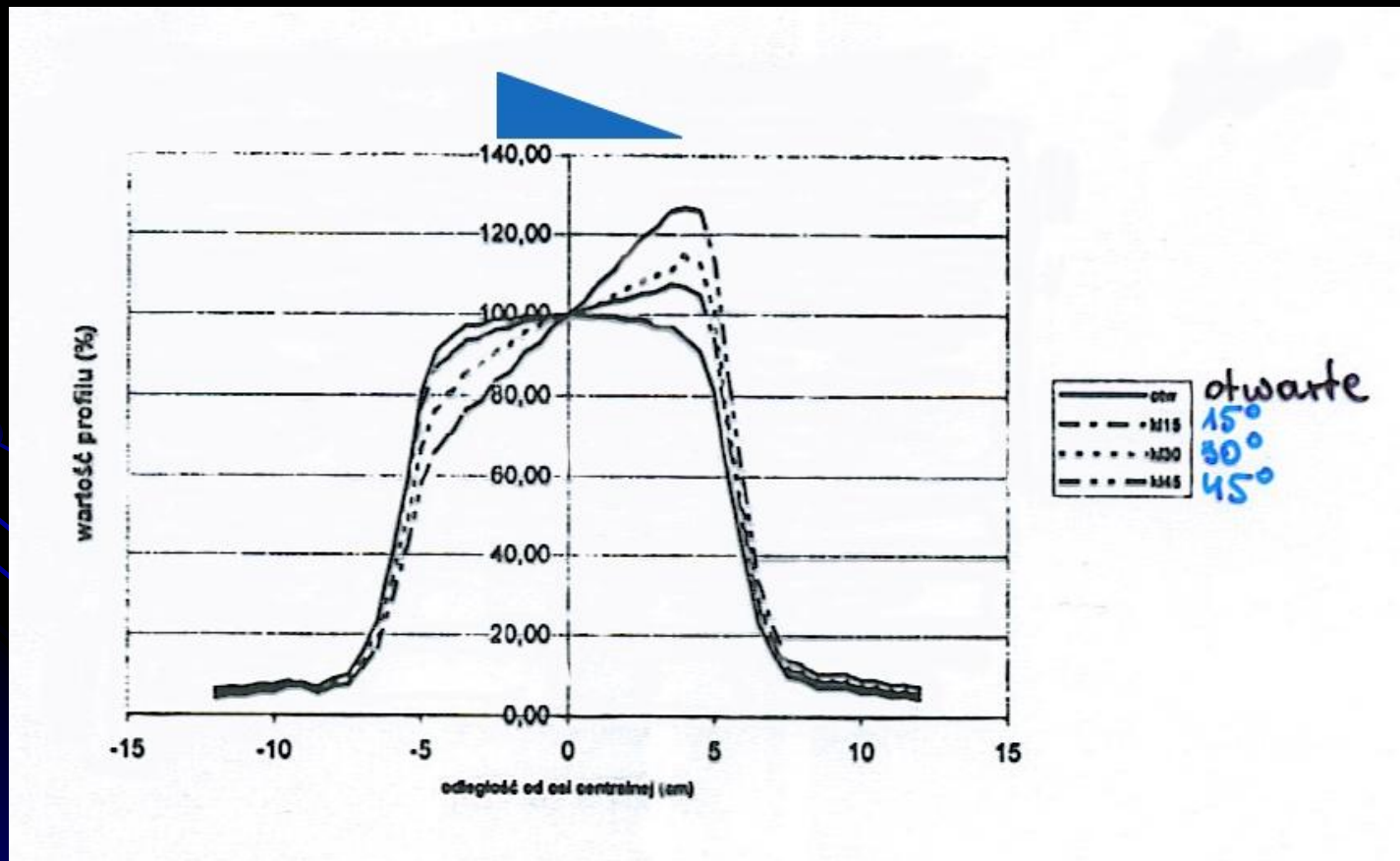
Kliny – pola klinowane

- izodoza dla wiązki modyfikowanej klinem, głębokość 10 cm, sposób określania kąta klina



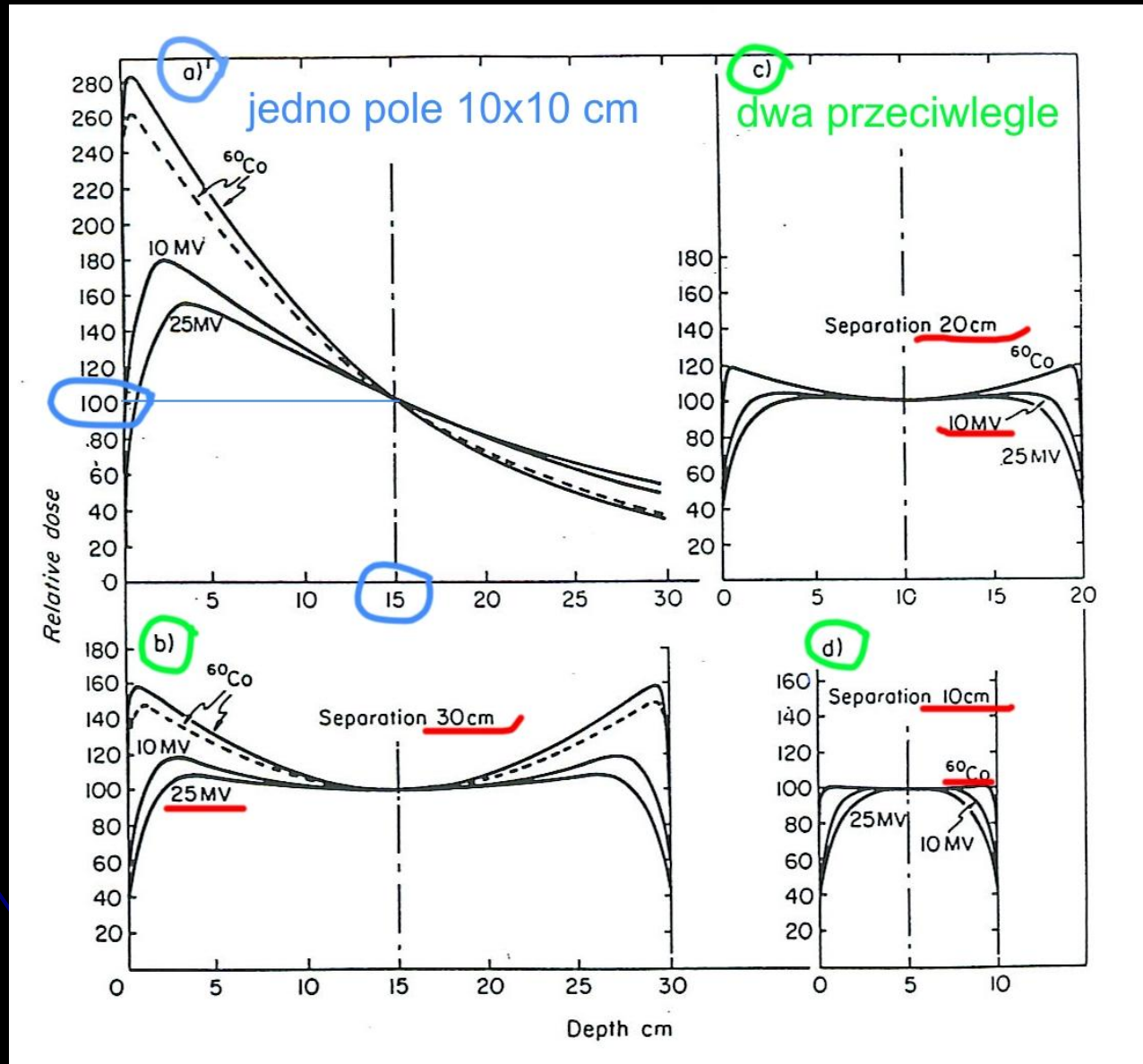
Kliny – pola klinowane

- profile dla pól klinowanego i otwartego, kąty łamiące klina 15° , 30° , 45°



Jak dobrać energię promieniowania?

- porównanie jedna wiązka (a) i dwa pola przeciwległe (b,c,d)

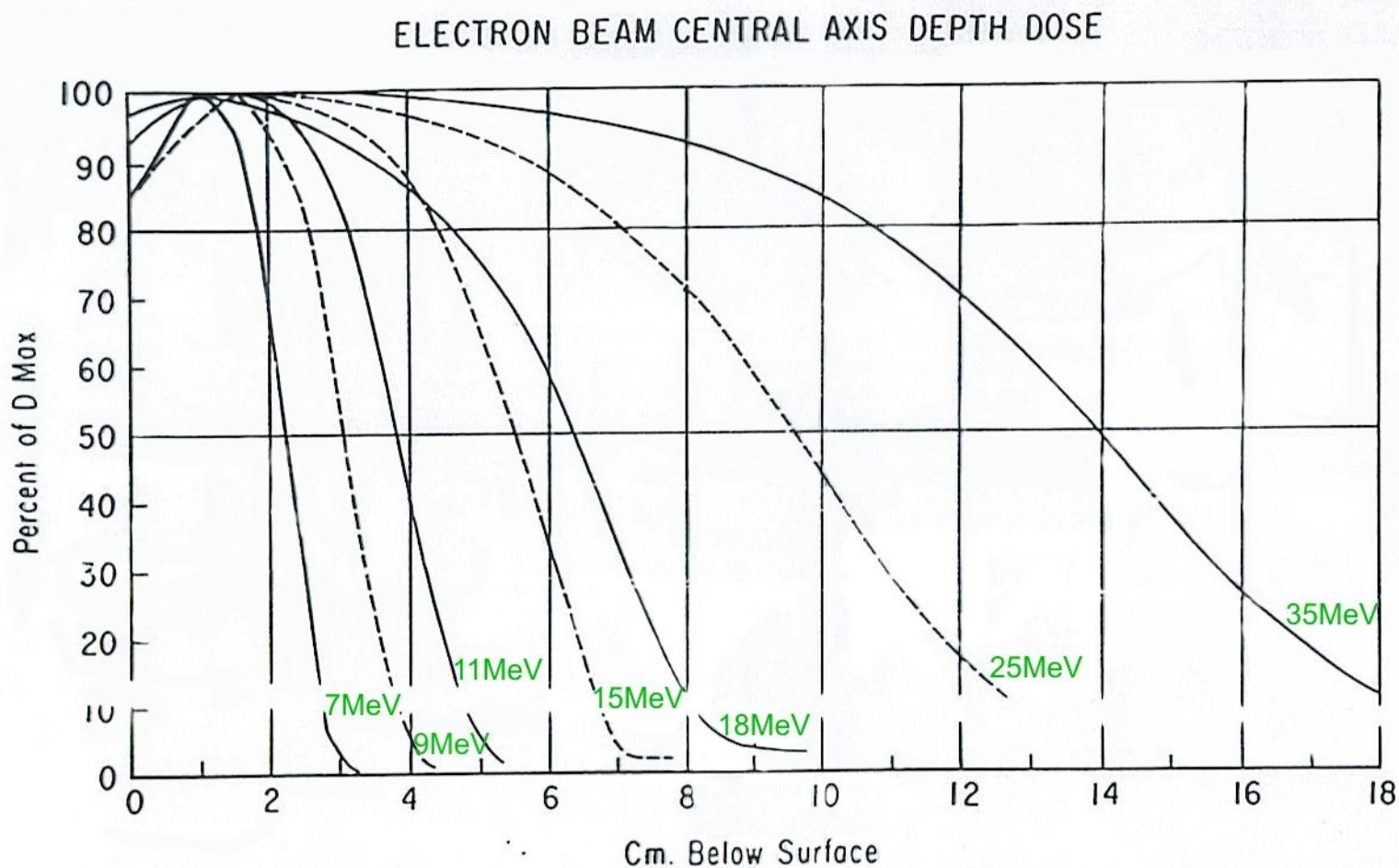


Elektrony

- zasięg elektronów jest ograniczony (szczególnie użyteczne w napromienianiu płytko położonych guzów)
- im wyższa energia wiązki elektronów
 - tym większy zasięg
 - tym wyższa dawka na powierzchni

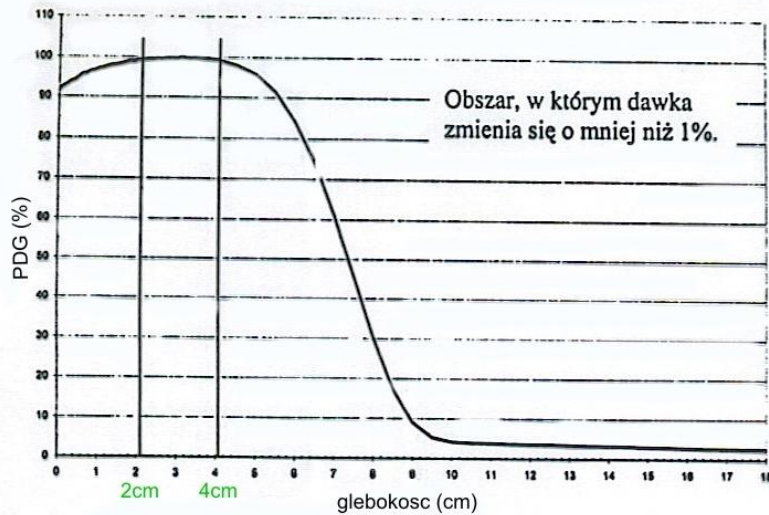
Elektrony

● PDG dla różnych energii

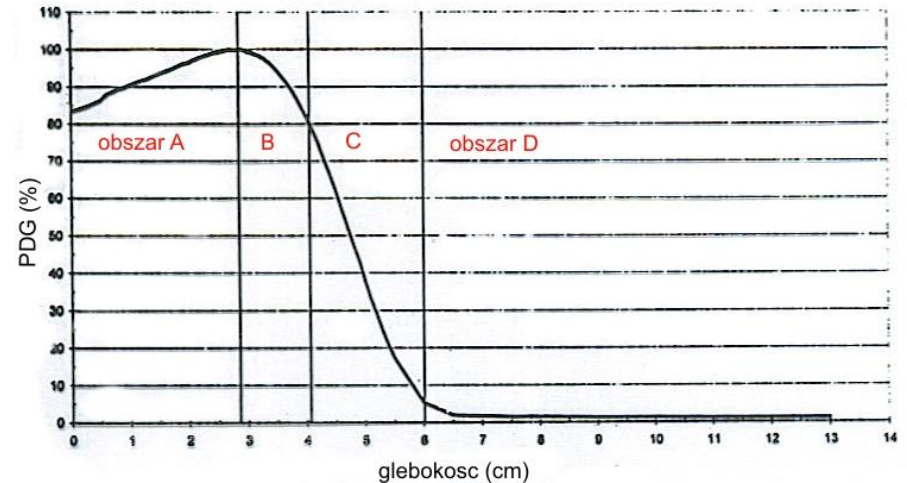


Elektrony - PDG dla wiązki elektronów

energia 18 MeV i boku 10cm



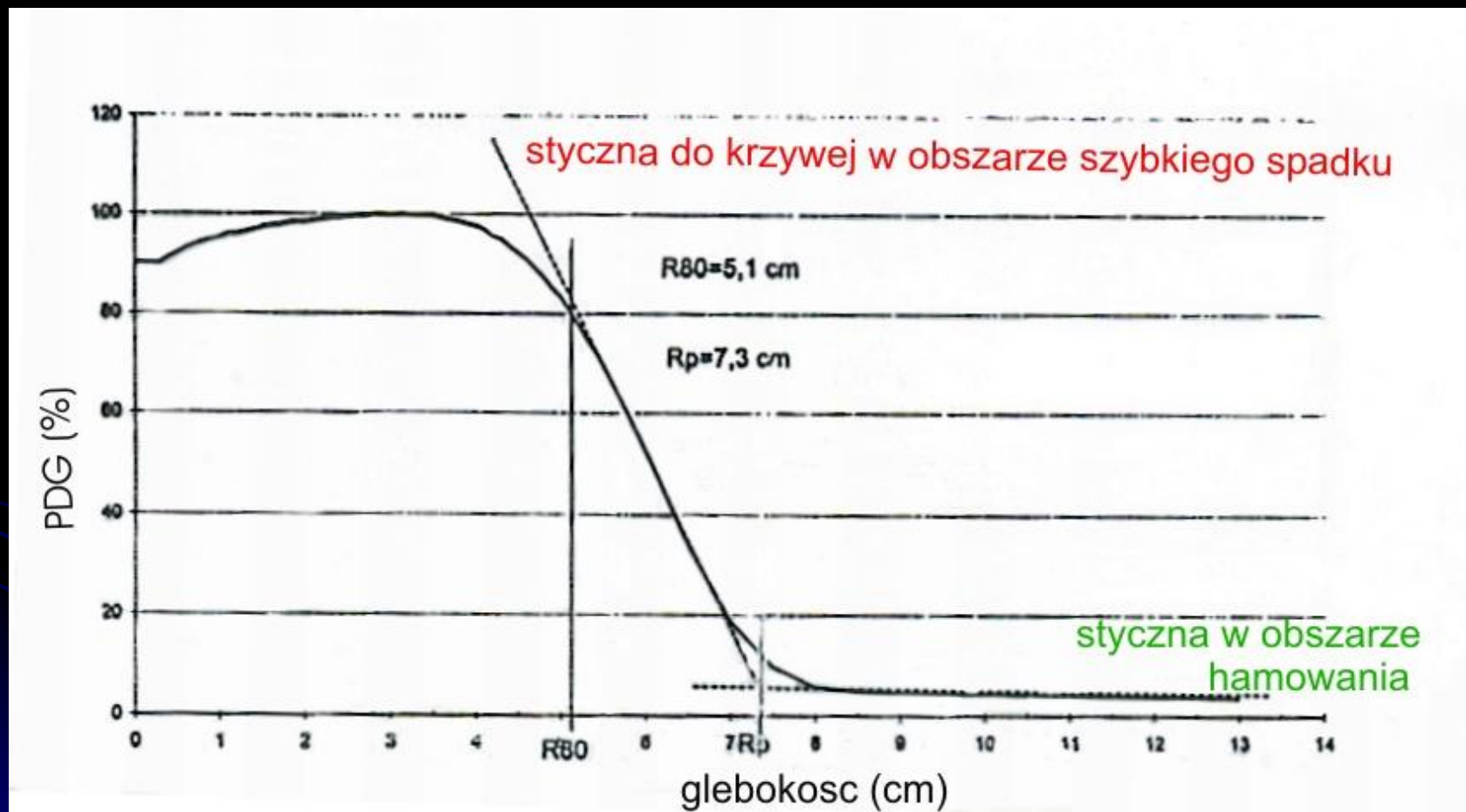
energia 12 MeV



● trudno precyzyjnie określić głębokość maksimum dawki

- A – obszar narastania dawki
- B – obszar powolnego spadku dawki
- C – obszar szybkiego spadku dawki
- D - obszar promieniowania hamowania

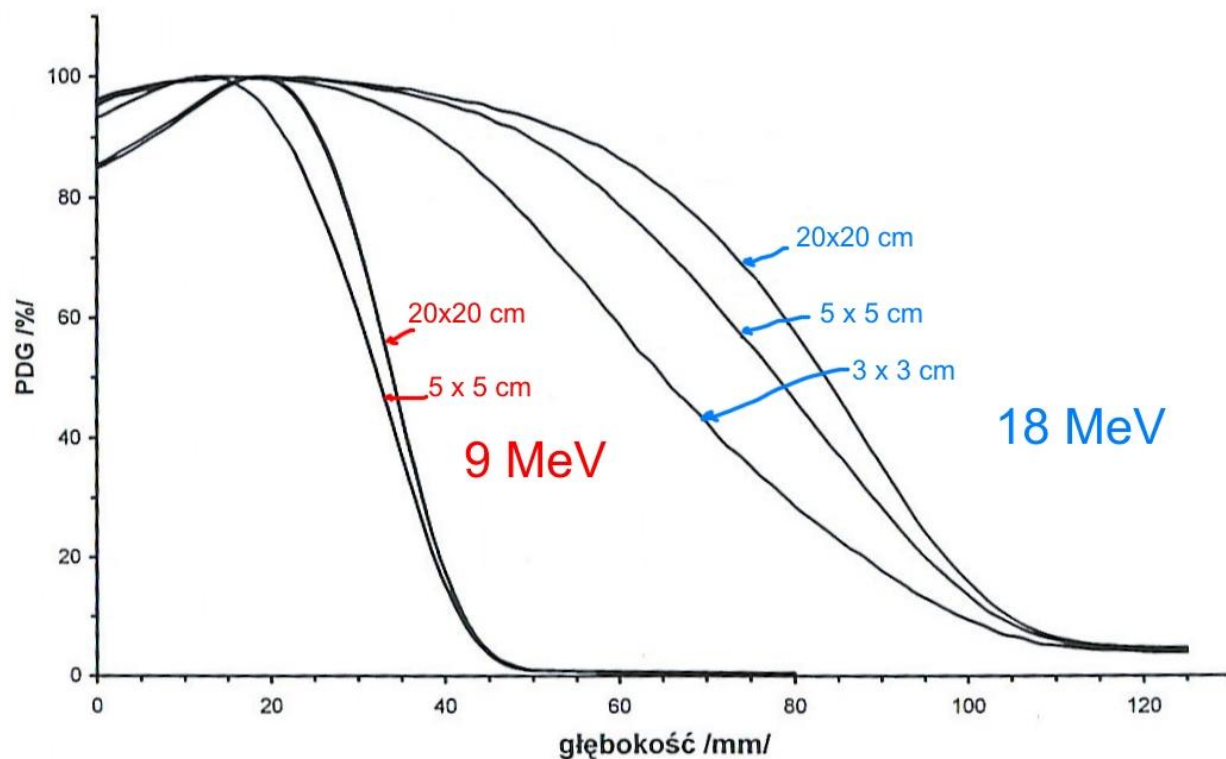
Definicja zasięgów dla wiązek elektronów, PDG, 15 MeV



- R_{80} – głębokość na jakiej dawka spada do 80 % dawki w maksimum

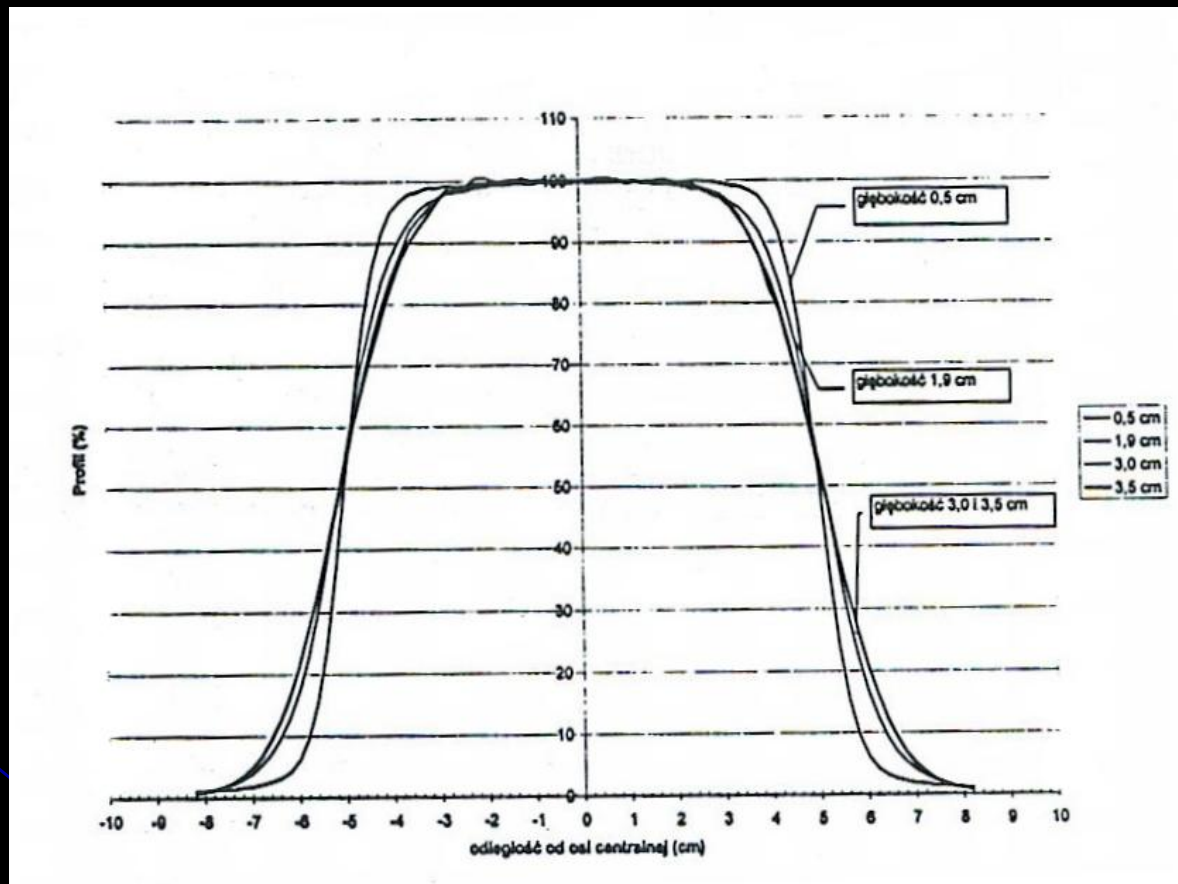
Elektrony - zależność PDG od wielkości pola

- im mniejsze pole tym maksimum bliżej powierzchni, mniejszy zasięg R_{80} , większa dawka na powie



Profil wiązki elektronów

o energii 9 MeV, dla pola kwadratowego o boku 10 cm



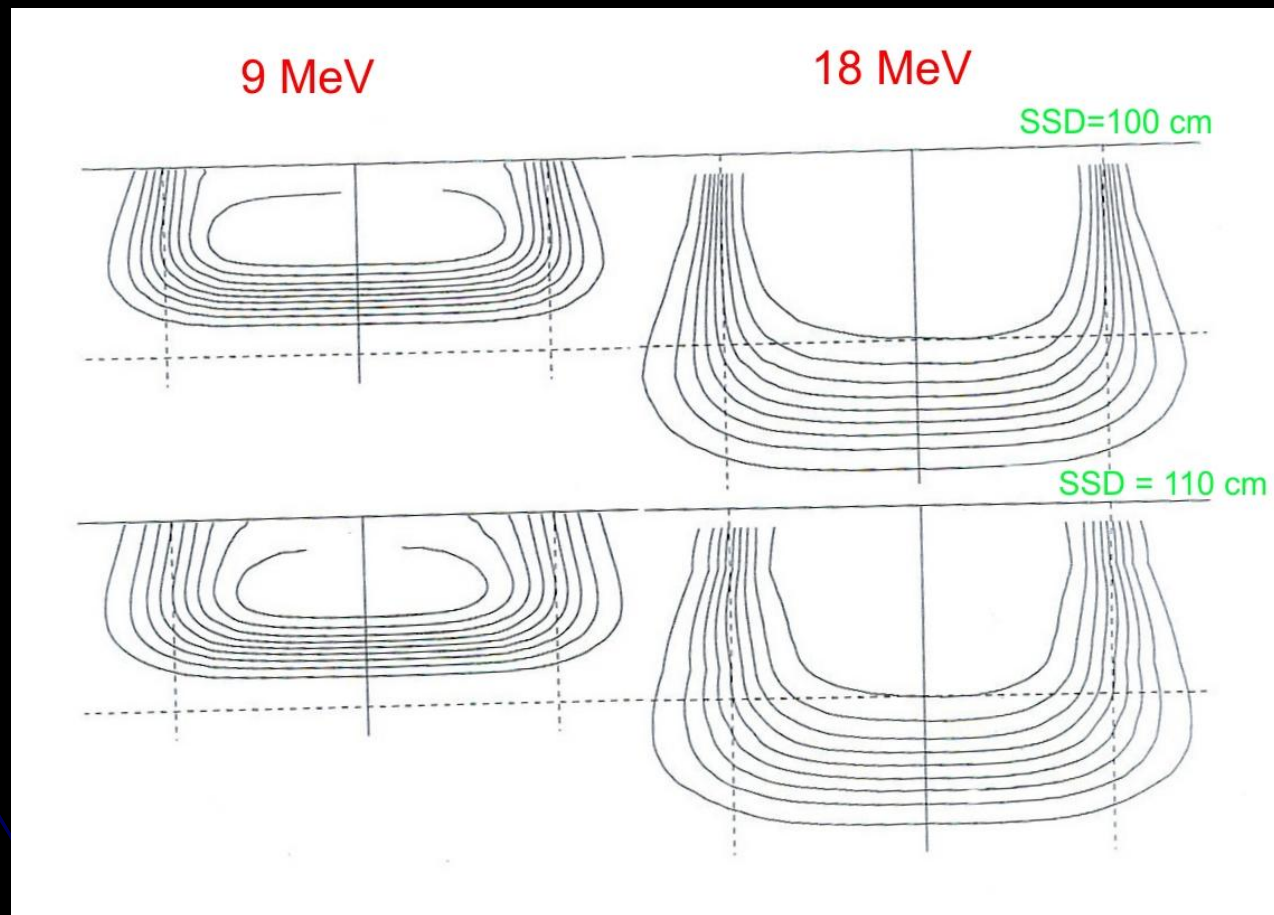
- profil nie jest bardzo użytecznym pojęciem w charakteryzowaniu rozkładu dawki od wiązki elektronów
- na pierwszych kilkunastu mm półcień rośnie szybko

Izodozy elektrony

- ze wzrostem SSD silnie wzrasta półcień wiązki, maleje OTW (obszar terapeutyczny wiązki)

- izodozy o dużych wartościach zakrzywiają się do środka – zmniejsza się OTW

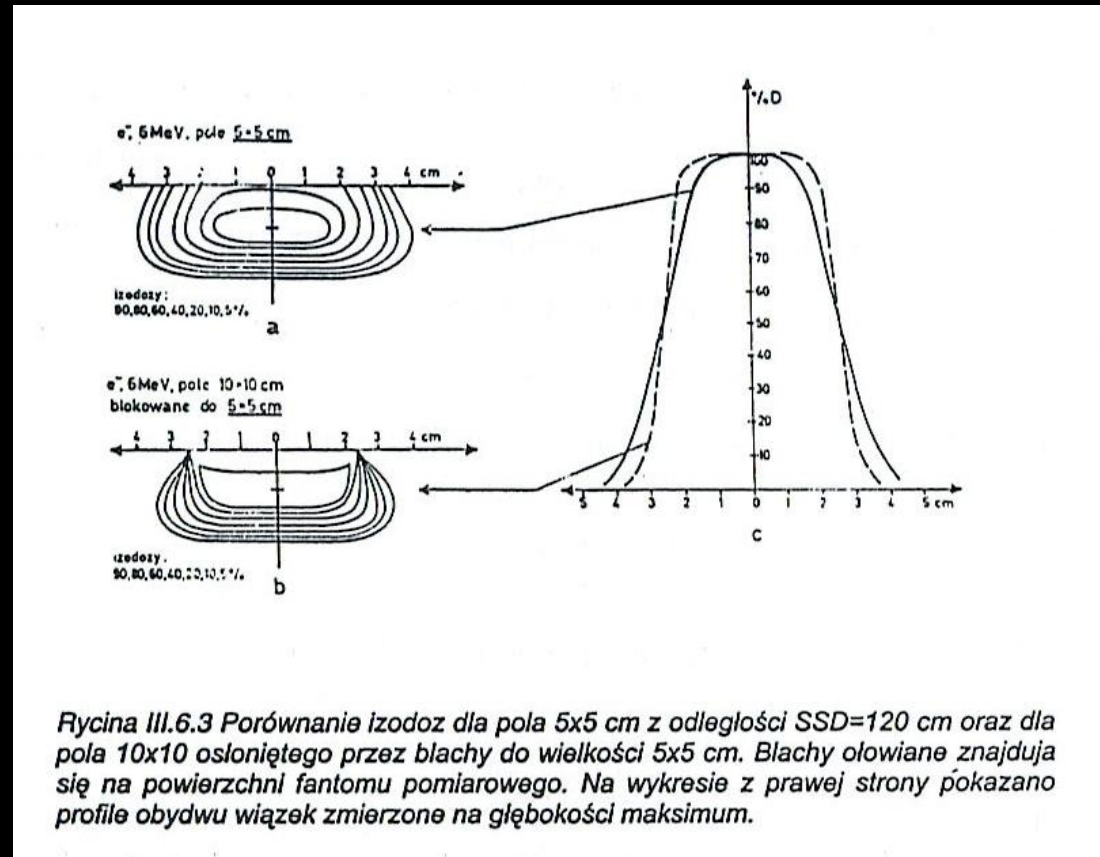
- izodozy o małych wartościach „rozpływają się” na zewnątrz - podwyższenie dawki poza obszarem geometrycznym wiązki



Osłony - elektrony

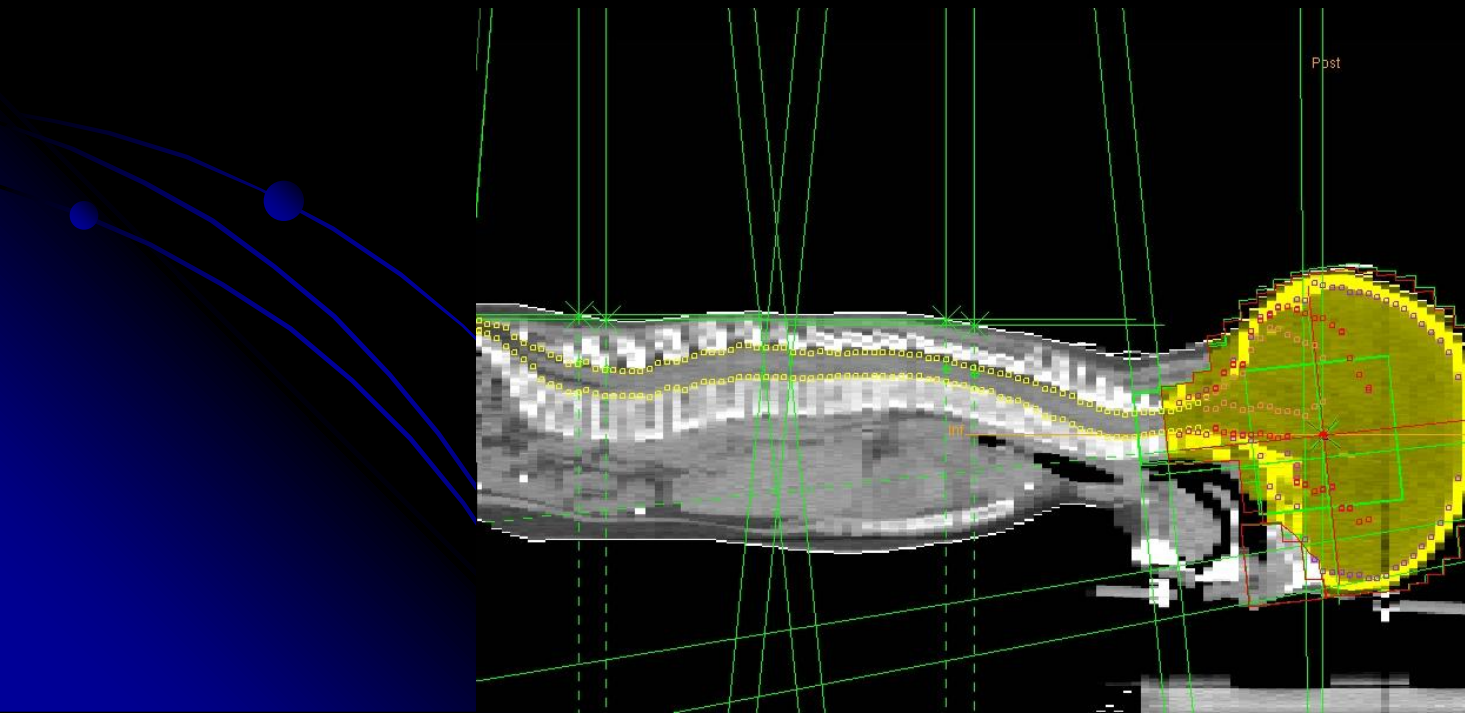
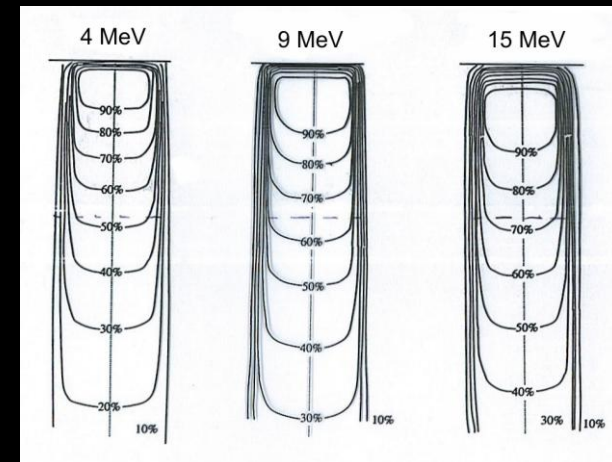
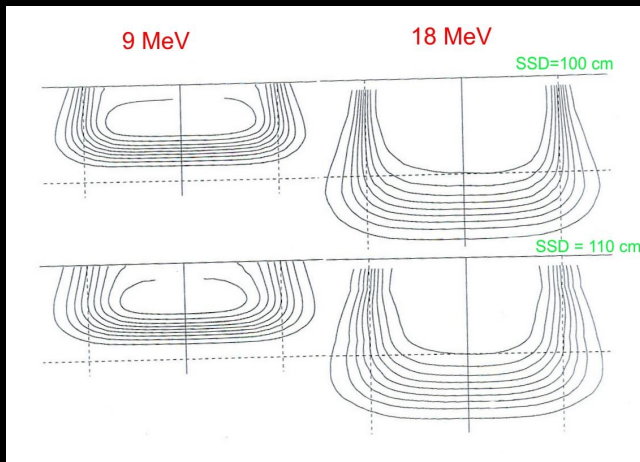
- osłony wykonywane z blachy ołowianej umieszczane na aplikatorach elektronowych
- aby zwiększyć obszar terapeutyczny stosuje się większe pole i ogranicza je do żądanej wielkości ogranicznikami z blachy
- grubość osłony dla wiązki elektronów o danej energii powinna być w przybliżeniu równa zasięgowi praktycznemu elektronów w tym materiale. Jeżeli do wykonania użyto blachy ołowianej to grubość osłony wyrażona w milimetrach wynosi połowę energii wyrażonej w megaelektronowoltach

$$g \text{ [mm]} = E \text{ [MeV]} / 2$$



Rycina III.6.3 Porównanie izodoz dla pola 5x5 cm z odległości SSD=120 cm oraz dla pola 10x10 osłoniętego przez blachy do wielkości 5x5 cm. Blachy ołowiane znajdują się na powierzchni fantomu pomiarowego. Na wykresie z prawej strony pokazano profile obydwu wiązek zmierzone na głębokości maksimum.

Porównanie izodoz fotonów i elektronów (zszycie)



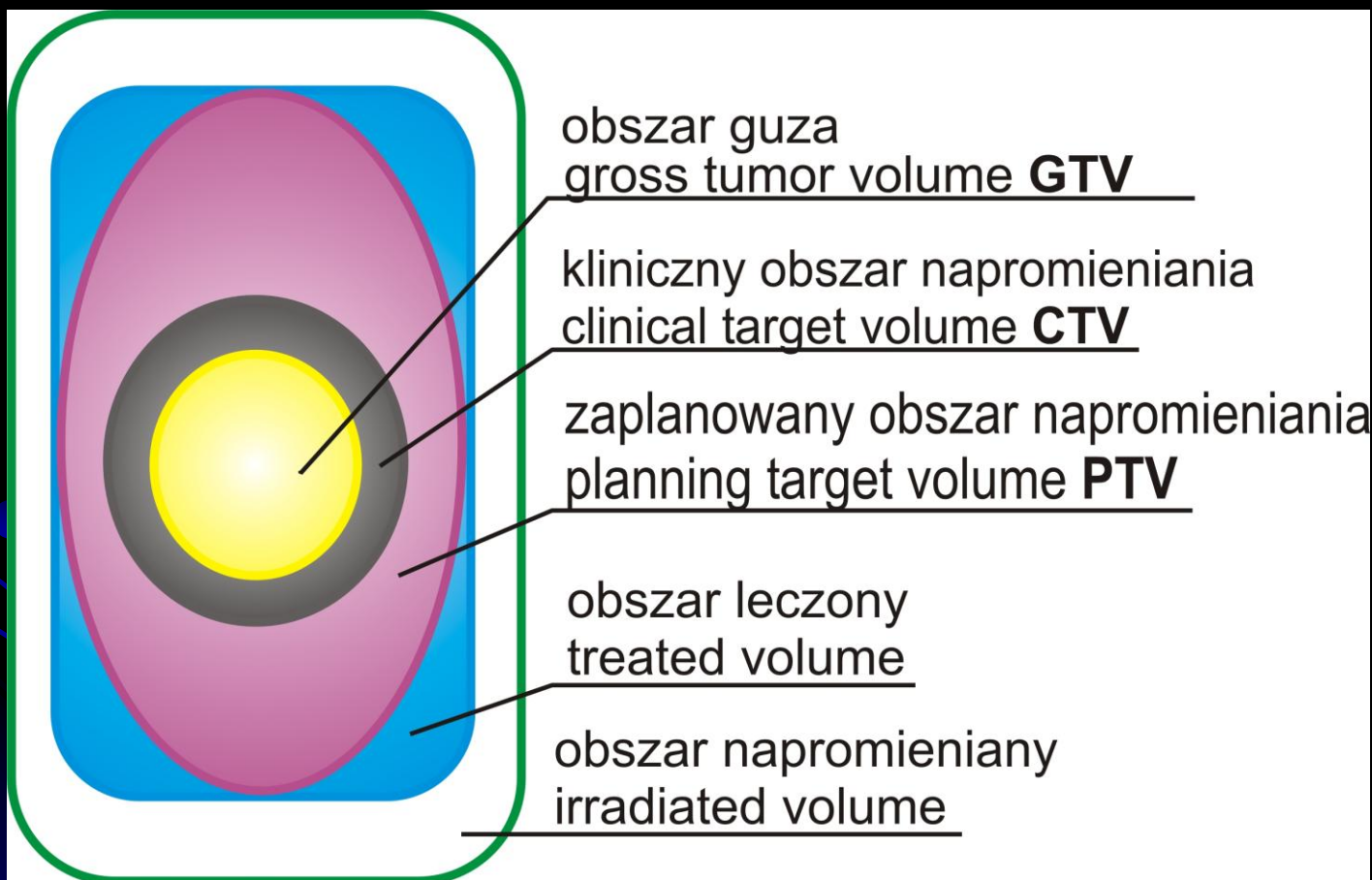
Planowanie RADIOTERAPII

● Lekarze

1. kwalifikacja – leczenie skojarzone chirurgia
chemioterapia
radioterapia
2. cel leczenia – radykalny
paliatywny
3. zaplanowanie obszaru do napromieniania
 - maska
 - symulacja wstępna – wyznaczenia pasa lub zaplanowanie pól, zlecenie wykonania zdjęć
 - zdjęcie obrysu (kiedyś) lub tomografiawrysowanie **GTV, CTV, PTV** w systemie planowania leczenia, narządy krytyczne
4. określenie dawki całkowitej, dawki frakcyjnej, sposobu frakcjonowania, dawek na narządy krytyczne

Obszar do napromieniania

- GTV -> CTV -> PTV według zaleceń Międzynarodowej Komisji ds. Jednostek Radiologicznych (ICRU Raport 50)



Planowanie RADIOTERAPII

● Technicy

- przygotowanie masek
- przygotowanie osłon indywidualnych i bolusów
- obsługa aparatów, symulatora, tomografu
- napromienianie, wykonywanie zdjęć sprawdzających
- zaznaczanie na maskach (lub skórze pacjenta) linii laserowych, punktów centrowania, granic wiązek

Planowanie RADIOTERAPII

- Fizycy

1. Dozymetria

- dopuszczenie aparatu do pracy
- kontrola aparatów
- pomiary danych do systemu planowania leczenia (testowanie systemu planowania leczenia)
- testowanie dawkomierzy (TLD, mosfety)
- przygotowanie danych pomiarowych do napromieniania całego ciała

Planowanie RADIOTERAPII

1. Planowanie

- wybór optymalnej techniki napromieniania
 - izocentrum, SSD
 - rodzaj (fotony, elektrony) i energia promieniowania
 - ilość, kierunki i wagi wiązek
 - bolusy
 - kliny osłony
- wyznaczenie rozkładu dawek (prezentacja w postaci izodoz):
w płaszczyźnie (obrys), w przestrzeni (CT), w punktach
- optymalizacja
- określenie czasu napromieniania lub dawek monitorowych
- resymulacja
- planowanie napromieniania w kilku etapach

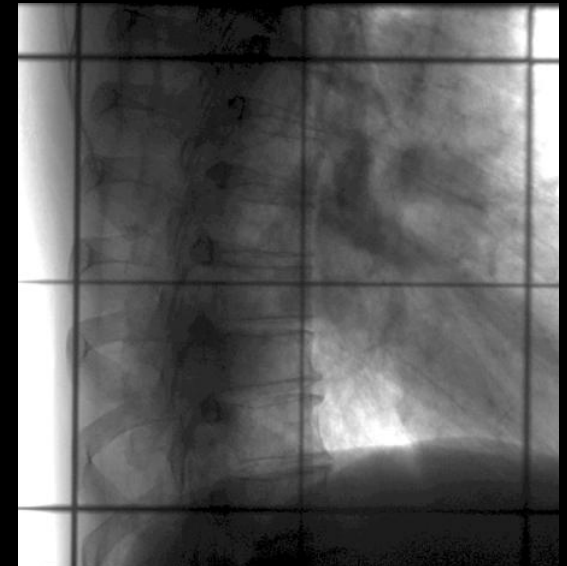
Planowanie RADIOTERAPII

1. Weryfikacja napromieniania

- analiza zdjęć sprawdzających
 - kliszowych
 - elektronicznych - iView
- XVI – IGRT
- dozymetria in VIVO
 - TLD
 - mosfety

Droga pacjenta

• symulator



Droga pacjenta

• przygotowanie maski



• tomografia



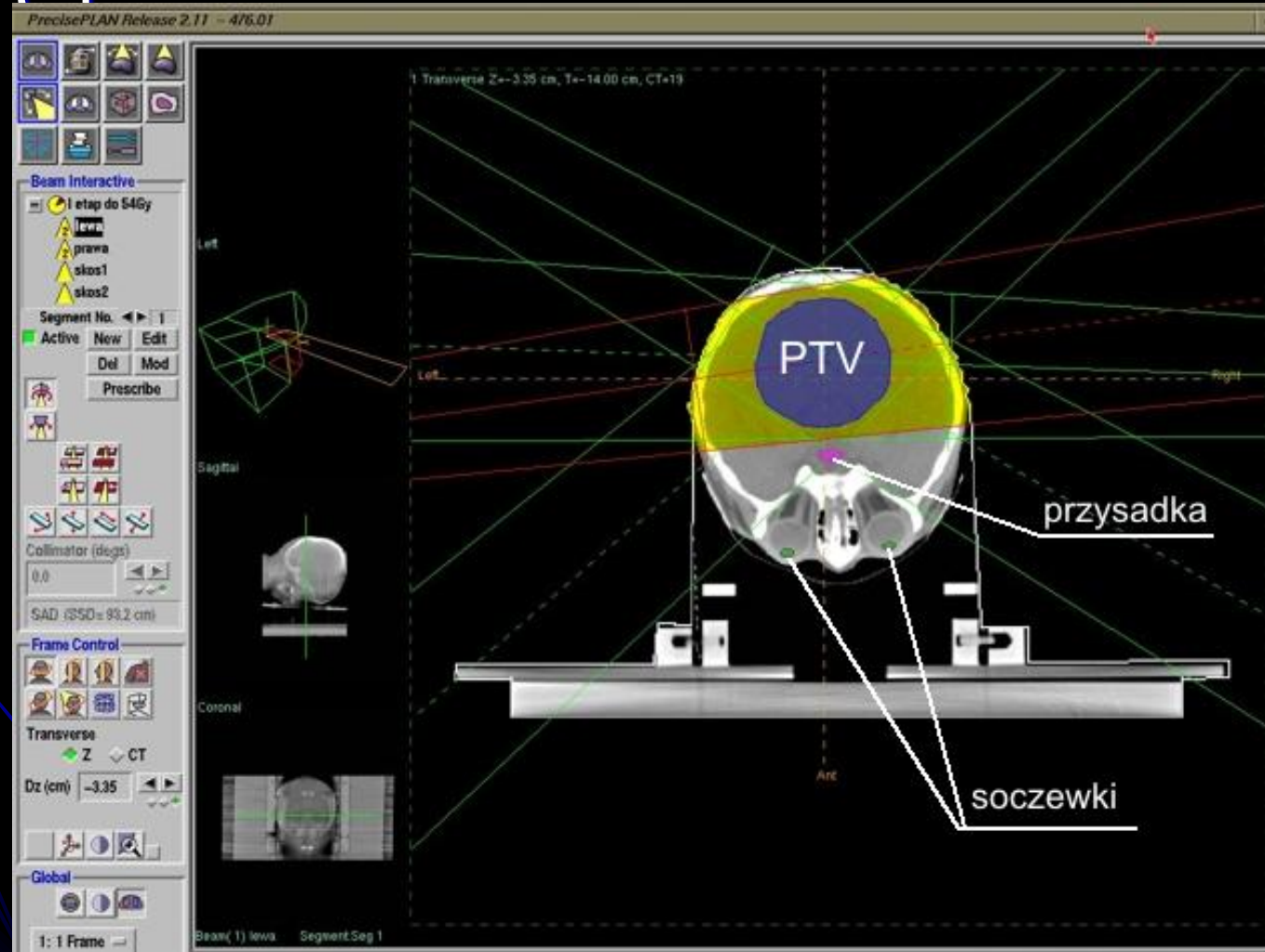
izocentrum lasery



Droga pacjenta - obszar do napromieniania

- struktury wrysowane na skanach CT

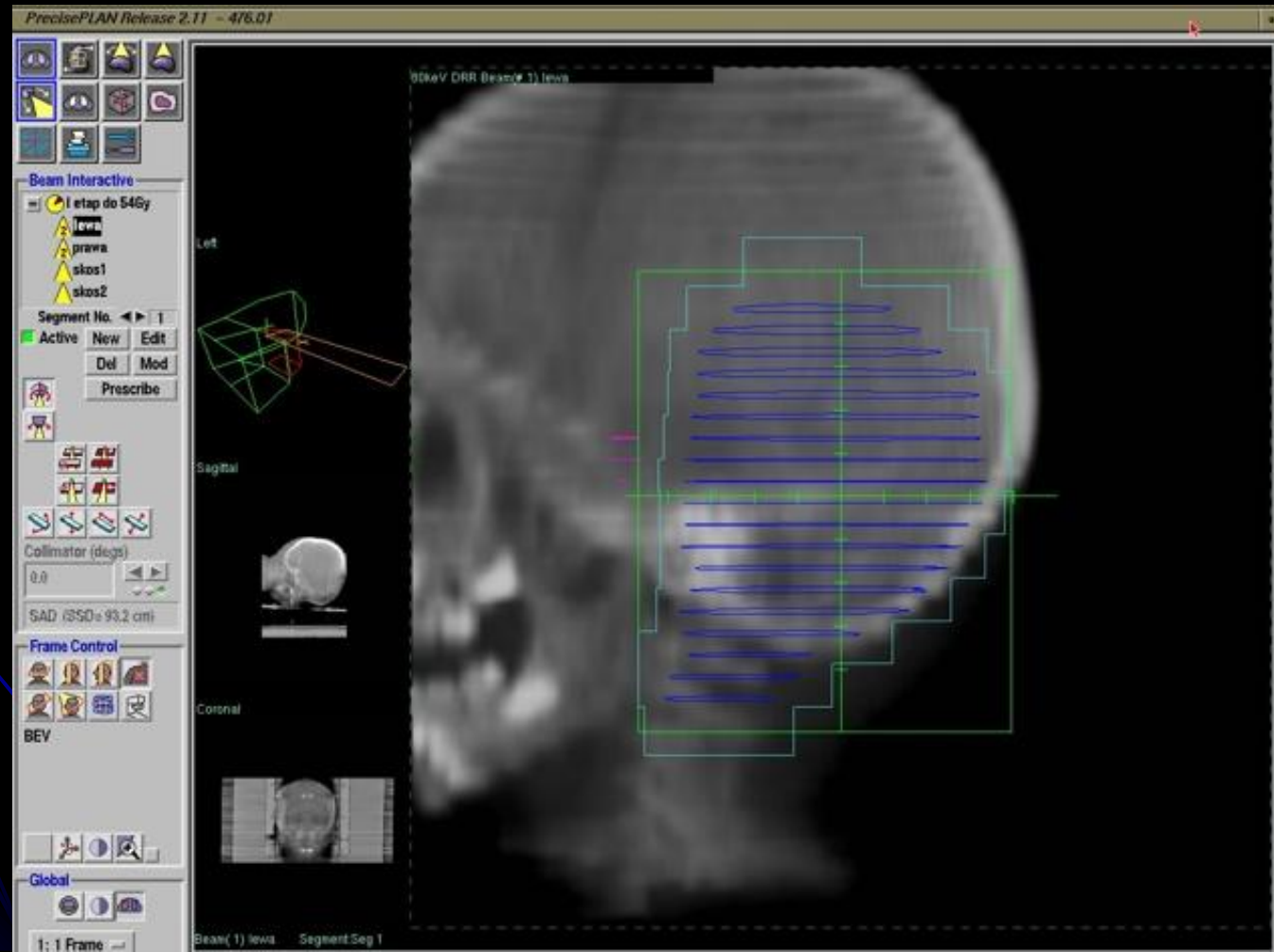
- dobór kątów głowicy



Droga pacjenta

- dopasowanie kształtu segmentów do targetu
- kąt kolimatora, MLC

- tworzenie DRR



Droga pacjenta – akceptacja planu

isodose

Isodose Level

4860
5170
5400

PrecisePLAN Release 2.11 – 476.01

Total Dose

Transverse Z=-3.35 cm, T=-14.00 cm, CT=13

Isodose

Isodose Level

4860
5170
5400

Delete
Delete All

Level 5400

Add New Level

Load List

Scene List

% cGy

Wireframe Display

Frame Control

Transverse

Z CT

Dz (cm) -3.35

Global

1: 1 Frame

State Page Portrait 1.000 A4 Tue Jan 16 13:27:29 2007

PrecisePLAN Release 2.11 - 476.01 Page 1 of 1 CPU ID: 1762688024

Patient ID: RW20070104105800 Print Date: 16-JAN-2007 13:27

Patient Name: Image Dataset

Plan 2: **II etap do 54 Gy ab zaakcept** Plan Date: 08-JAN-2007 10:39

Signature

Key	Structure	Plan	Min Dose (cGy)	Max Dose (cGy)	Mean Dose (cGy)	Total Vol (cc)
	noz		26	5486	2429	1264.8
	wien		2988	5458	5138	20.3
	soczewka L		76	99	89	0.1
	soczewka P		80	109	98	0.1
	rdzen przedluzony		135	5418	2328	4.7
	przysadka		529	1667	1075	0.7
	gtv		5231	5441	5368	63.2
	ctv		5105	5474	5355	205.8
	ptv		4959	5486	5347	248.9
	rdzen przedl + 4m		130	5418	2286	10.7
	wien + 4mm		1941	5465	5024	34.1

Droga pacjenta - napromienianie

bolusy

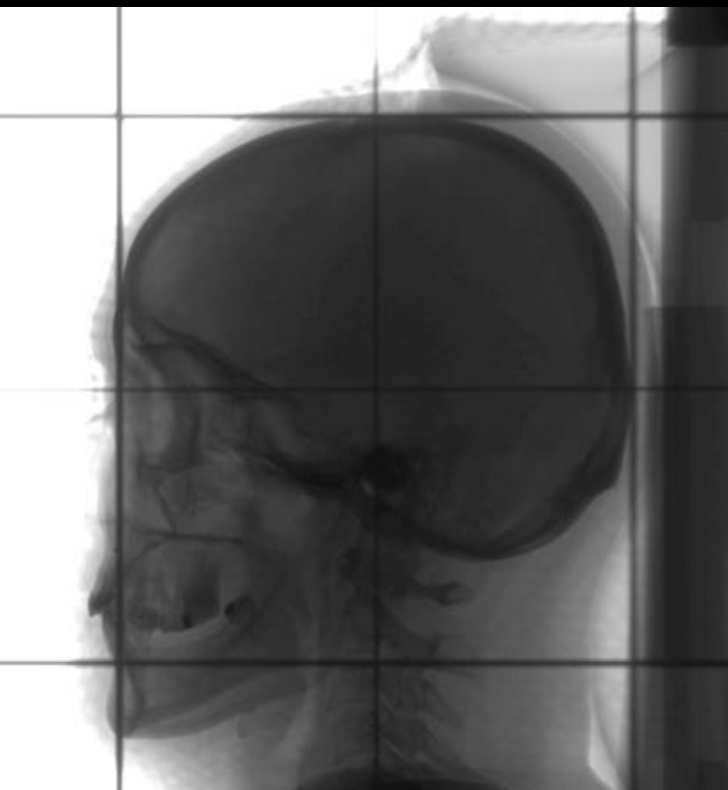


ułożenie - lasery



Droga pacjenta - weryfikacja

analiza zdjęć sprawdzających



obraz cyfrowy z symulatora lub
klisza
porównanie z portalem z
napromieniania

DRR – rekonstrukcja
porównanie z portalem elektronicznym

Template Matching

Step 1
Match field edge
Use left mouse button to shift

Step 2
Match anatomy
Use left mouse button to shift
Use right mouse button to rotate

Results
Anatomy displacement relative to the field edge

Horizontal (mm):	+0.7
Vertical (mm):	+0.3
Rotation (degrees):	+0.0

iViewGT

1440 iview 9:29 AM

Droga pacjenta - weryfikacja

- tomografia do planowania porównanie z kilowoltową tomografią sprawdzająca

IGRT
Image Guided
RadioTherapy

VolumeView Registration: Patient ID: Name:

File Help

Coronal
Sagittal
Image

Correction reference point = isocenter
Slice 134 of 270
Slice 136 of 270

Transverse
Slice 132 of 264

Reference preset
 Scan
 Alignment Clipbox...
 Structure

Alignment
Automatic | Bone
Reset
Invert To Correction

Position Error
Translation (cm)
X 0.12
Y 0.04
Z 0.07
Rotation (dg)
X 0.0
Y 0.0
Z 0.0

Correction (cm)
Longitudinal -0.12
Vertical -0.04
-0.07

Dismiss Accept

07.06.2006 11:30:43
Scan Time: 02.06.2006 09:43:48.000

Treatment: 1:1 Plan Date: 02.06.2006 09:43:48.000 Plan Description: 1:zaakc. 54 Gy PS

Droga pacjenta – weryfikacja – badania in VIVO

- detektory TLD - termoluminescencyjne

- mosfety



Literatura

- Paweł F. Kukołowicz „Charakterystyka wiązek terapeutycznych fotonów i elektronów”
- Anna Gasińska „Biologiczne podstawy radioterapii”
- Materiały Anny Zygmuntowicz – Piętka i Anny Semaniak

